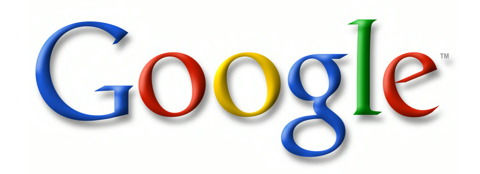
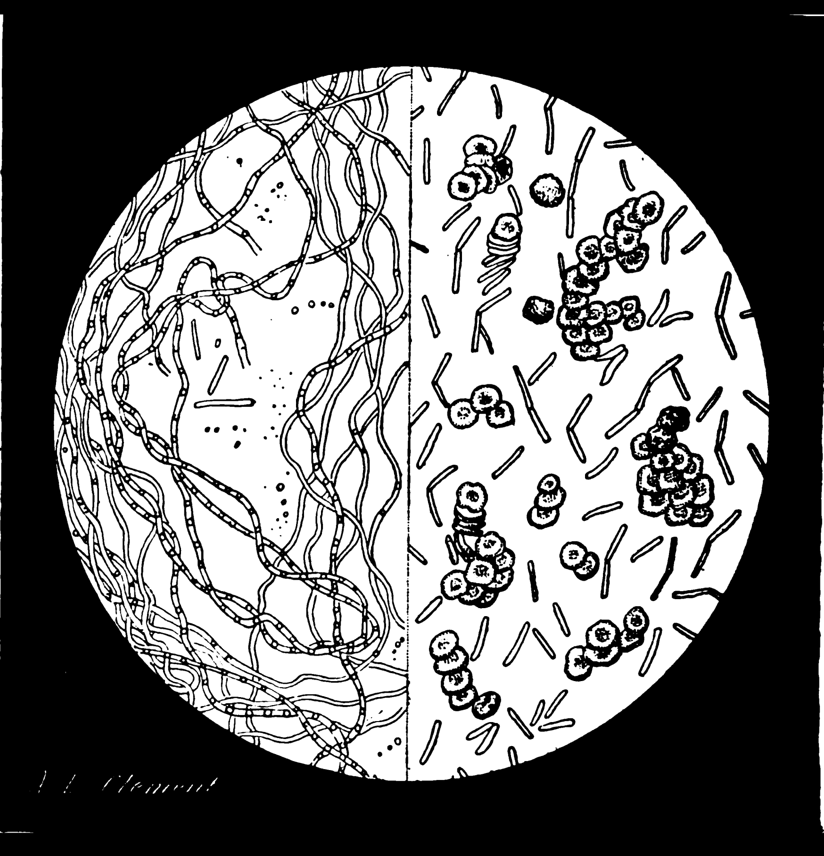
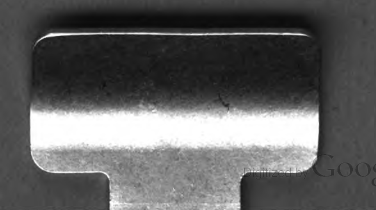




Lectures scientifiques

Jules Gay



LECTURES SCIENTIFIQUES

PHYSIQUE ET CHIMIE

A LA MÊME LIBRAIRIE

LECTURES HISTORIQUES

RÉDIGÉES CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU 28 JANVIER 1890

A L'USAGE DES LYCÉES ET DES COLLÈGES

Histoire ancienne (Égypte, Assyrie), à l'usage de la classe de Sixième, par M. G. Maspero, membre de l'Institut, professeur au Collège de France. 1 vol. in-16, illustré de nombreuses gravures, cartonnage toile. 5 fr.

Histoire grecque (Vie privée et vie publique des Grecs), à l'usage de la classe de Cinquième, par M. P. Guiraud, maître de conférences à l'École normale supérieure. 1 vol. in-16, illustré de nombreuses gravures d'après les monuments, cartonnage toile. 5 fr.

Histoire romaine (Vie privée et vie publique des Romains), à l'usage de la classe de Quatrième, par M. P. Guiraud. 1 vol. (*En préparation.*) » »

Histoire du moyen age, à l'usage de la classe de Troisième, par Ch.-V. Langlois, chargé de cours à la Faculté des lettres de Paris. 1 volume in-16, illustré de nombreuses gravures d'après les monuments, cartonnage toile. 5 fr.

Histoire du moyen age et des temps modernes. Classe de seconde, par M. Mariéjol, maître de conférences à la Faculté des lettres de Nancy. 1 vol. (*Sous presse.*) » »

Histoire des temps modernes. Classe de Rhétorique, par M. Lacour-Gayet, professeur au lycée Saint-Louis. 1 vol. (*En préparation.*) » »

Coulommiers. — Imp. Paul Brodard.

Prof. F. V. Paget Univ. of Cal.

JULES GAY

Docteur ès sciences,

Professeur de physique au lycée Louis-le-Grand.

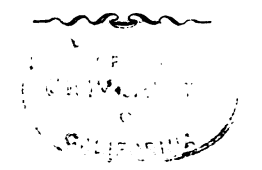
LECTURES SCIENTIFIQUES

EXTRAITS DE MÉMOIRES ORIGINAUX

ET

D'ÉTUDES SUR LA SCIENCE ET LES SAVANTS

PHYSIQUE ET CHIMIE



PARIS

LIBRAIRIE HACHETTE ET Cie

79, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 79

1891

PRÉFACE

« La science repose sur les faits ; elle est l'œuvre de l'observation et des siècles ; elle doit, pour être comprise, s'étudier à ses sources et l'exposition en serait incomplète et fausse, si le tableau du présent était mis sous nos yeux sans tenir compte des droits et des travaux du passé. »

Ces paroles de J.-B. Dumas nous semblent la meilleure introduction à ces lectures scientifiques ; elles les expliquent et les justifient. Laissant à d'autres le soin d'écrire l'histoire de la science, nous voudrions nous borner à en marquer les étapes principales, en empruntant aux savants eux-mêmes l'exposition et l'histoire de leurs découvertes.

Nous avons un autre but encore : les pages éloquentes de nos philosophes, de nos historiens, etc., sont dans toutes les mémoires et dans toutes les

bibliothèques; on oublie trop qu'il s'en trouve de pareilles dans les œuvres de nos savants. Il ne sera peut-être pas inutile, à une époque où l'exposition de la science n'est trop souvent qu'une sèche nomenclature, de rappeler ces pages à ceux qui les oublient ou les ignorent. Étudiants scientifiques ou littéraires, peut-être même professeurs et gens du monde y trouveront, nous l'espérons, quelque intérêt et quelque profit. Nous ne ferons donc que citer, nous bornant aux indications et aux notes strictement nécessaires pour l'intelligence du texte[1].

Nous avons groupé ces lectures dans l'ordre suivi habituellement dans les traités classiques de physique. Professeurs et élèves trouveront donc facilement les citations originales et les développements historiques relatifs à chaque partie du cours. « On invitera le professeur, dit l'instruction ministérielle du 15 juillet 1890, pour quelques questions qui s'y prêtent facilement à exposer sommairement la marche qu'a suivie l'esprit humain et les tâtonnements successifs par lesquels il est passé pour arriver à la découverte de la vérité scientifique. C'est la démonstration la plus frappante que l'on puisse donner de l'influence qu'a exercée l'emploi judicieux de la méthode expérimentale sur le développement et les progrès des sciences

1. Ces indications et ces notes sont en petits caractères.

physiques. » Nous croyons que ce livre répondra à cette pensée.

Plusieurs ne manqueront pas de trouver dans ce volume, le premier de ce genre qui soit publié, et des lacunes et de grandes inégalités dans la composition. L'auteur sera reconnaissant à tous ceux qui voudront bien lui signaler les unes et les autres.

J. G.

Paris, 15 juin 1891.

LECTURES SCIENTIFIQUES

LIVRE I

LA PESANTEUR

CHAPITRE I

GALILÉE

C'est Galilée qui, en s'attaquant le premier, avec éclat et à ses dépens, à l'autorité absolue d'Aristote, a véritablement fondé la méthode expérimentale. C'est à lui qu'il convient de faire remonter l'origine de la physique moderne, et il est naturel que son nom soit le premier à se rencontrer dans ce recueil.

Son procès a été l'objet d'un nombre considérable d'études et de publications de genre et d'étendue fort variables. Mais ses œuvres, plusieurs fois réimprimées en Italie, n'ont jamais été, sauf d'assez courts fragments, traduites en français. C'est une lacune singulièrement regrettable, et il est fort à désirer qu'elle soit bientôt comblée.

Nous donnerons à la suite d'une courte notice sur sa vie et ses œuvres, la liste de ses ouvrages, puis celle de quelques-unes des meilleures études sur sa vie et sur son procès.

Galilée est né à Pise le 18 février 1564 d'une famille noble;

mais sans fortune. Il fit ses premières études au monastère de Vallombrosa. Puis il étudia la médecine à Pise (1581) dans la pensée d'en faire sa carrière. Mais, entraîné par son goût pour les mathématiques, il abandonna bientôt la médecine, non sans résistance de la part de son père, pour se livrer entièrement à ses études préférées (1585). Nommé professeur à Pise, à l'âge de vingt-cinq ans, en 1589, par la protection du cardinal Del Monte, il y resta jusqu'en 1592. C'est à cette époque que se rapportent la découverte des lois de la chute des corps et les premières études sur le pendule (loi de l'isochronisme). Il passa en 1593 au service de la république de Venise, comme professeur à Padoue.

En 1609, à l'aide de la lunette hollandaise, reconstituée par lui sur des indications très sommaires et nommée depuis *lunette de Galilée*, il découvrit en quelques jours les quatre Satellites de Jupiter, les taches du Soleil [1], les montagnes de la lune, plusieurs étoiles nouvelles, les phases de Vénus, etc. Il annonça ces découvertes dans un écrit intitulé *Nuntius sidereus*, qui parut à Florence en mars 1610 et qui eut un immense retentissement. La même année (1610), rappelé par le grand-duc de Toscane, Ferdinand, qui lui assura de nombreux avantages, il revint s'établir à Florence; il avait alors quarante-six ans.

A cette époque aussi commencent les luttes ardentes qu'il eut à soutenir contre les péripatéticiens d'abord, qui ne lui pardonnaient pas de s'attaquer à l'autorité d'Aristote, puis contre les théologiens. Dans le mois de mai 1612, il écrivait au prince Cesi [2] à Rome :

Quant aux taches solaires, je conclus finalement, et je crois pouvoir démontrer d'une façon péremptoire, qu'elles sont contiguës à la superficie du corps du Soleil, où elles s'engendrent et se dissolvent continuellement, à peu près comme les nuages autour de la terre; et s'en vont portées circulairement par le même corps qui tourne sur lui-même dans l'intervalle d'environ un mois lunaire....

1. Aperçues un peu avant lui, mais à son insu, par Fabricius et par le P. Scheiner. — J. G.

2. Président de l'Académie des *Lyncei* à Rome, dont Galilée faisait partie. — J. G.

Je présume que ces nouveautés seront les funérailles, ou plutôt la fin et le jugement dernier de la pseudo-philosophie, des signes en étant déjà ainsi apparus dans la lune et le soleil. Et je m'attends à ouïr à ce sujet de grandes choses proclamées par les péripatétiques, pour maintenir l'immutabilité des cieux, laquelle je ne sais pas comment, elle pourra être sauvée et conservée, quand le soleil lui-même en montre à nos yeux des effets si manifestes [1]. — C'est, continue M. Biot [2], ce que les partisans des anciennes doctrines voyaient tout aussi bien que lui, avec plus de frayeur; et, après avoir crié, soutenu autant qu'ils l'avaient pu, que les observations de Galilée étaient fausses, ils s'étaient réfugiés à dire, et à prétendre, que l'idée de supposer la terre en mouvement et le soleil immobile, est contraire au texte de l'Écriture, conséquemment hérétique, et inadmissible catholiquement. Par malheur, Galilée eut l'imprudence de leur fournir des armes contre lui-même en les suivant sur ce terrain.

En vain, ses amis, notamment les cardinaux Bellarmin et Del Monte, et le cardinal Maffeo Barberini, qui fut depuis le pape Urbain VIII, lui firent-ils dire que, « s'il voulait se borner à présenter sa doctrine au titre de spéculations mathématiques, on avait l'espérance qu'il ne serait pas inquiété » [3], il ne put se résoudre à cette prudence et, dans des écrits nombreux, il s'appliqua à discuter avec les théologiens, à présenter de nouvelles interprétations des Écritures. Ses ennemis profitèrent habilement de l'avantage qu'il leur offrait. Ces luttes remplirent plus de vingt années de sa vie. Nous ne pouvons songer à les raconter ici. Nous nous bornerons à indiquer à la suite de cette notice quelques-uns des très nombreux ouvrages où elles sont le mieux racontées. Rappelons seulement quelques dates.

1. *Opere complete di Galileo Galilei* (édit. de Florence, 16 vol. in-8, 1842-1856), t. VI, p. 181.
2. Biot, *Mélanges scientifiques et littéraires*, t. III, p. 2.
3. Biot, *loc. cit.* — Venturi, *Memorie e lettere inedite di Galileo Galilei*, t. I, p. 220 et 221. Modène, 2 vol. in-4, 1818 et 1821.

Terminée une première fois par le décret du 23 février 1616 qui condamnait la doctrine du mouvement de la terre, mais sans nommer Galilée, la querelle recommença en 1623 après la mort du pape Paul V et l'avènement du cardinal Barberini, sous le nom d'Urbain VIII. Après de longues péripéties et des luttes ardentes, elle aboutit le 22 juin 1633 à la condamnation formelle et personnelle de Galilée par le tribunal de l'Inquisition. Les dernières études sur ce célèbre procès ont établi deux points importants : Galilée ne fut pas mis à la torture, et l'arrêt de condamnation, signé par une partie seulement des cardinaux qui composaient le tribunal [1] (sept sur dix), ne reçut jamais la sanction et la signature du pape. Il a donc la valeur d'un jugement rendu par un très haut tribunal, mais il n'engage en aucune façon la doctrine même de l'Église et l'autorité pontificale.

Galilée était condamné à être enfermé dans les prisons du Saint-Office. Le pape Urbain VIII commua immédiatement la peine en réclusion dans le palais de l'ambassadeur de Toscane, Nicolini, au jardin de la Trinité des Monts. Quelques jours après, il partait pour Sienne et passait cinq mois chez son ami le cardinal Piccolomini, entouré d'hommages, mais prisonnier. Il quitta Sienne à la fin de 1633 pour se retirer à Arcetri, près de Florence, dans une villa achetée dans le voisinage du couvent de San Matteo où sa fille Marie-Céleste était religieuse. C'est là qu'il passa les dernières années de sa vie, prisonnier sur parole, mais soumis à la surveillance de l'Inquisition. Il y fut visité en 1636 par le comte de Noailles, ambassadeur de France à Rome; il lui remit le manuscrit de son célèbre ouvrage *Dialoghe delle nuove scienze*, qui fut imprimé à Leyde par les Elzévirs en 1638. Il devint aveugle vers le même temps. « Ce ciel, ce monde, cet univers que par mes observations merveilleuses et mes évidentes démonstrations j'avais agrandi cent et mille fois au delà de ce qu'avaient cru les savants de tous les siècles passés, sont maintenant devenus pour moi si restreints et si diminués, qu'ils ne s'étendent pas au delà de l'espace occupé par ma personne. » (*Lettre de Galilée à Diodati*, du 2 janvier 1638.)

1. Voir dans Biot (*loc. cit.*, p. 45) le texte latin de la condamnation de Galilée, la liste des juges et celle des signataires de l'arrêt. — J. G.

Ses amis, Peri, Settini, Torricelli, Viviani, etc., et son fils Vincenzo Galilei adoucirent la fin de sa vie. Il mourut le 8 janvier 1642, à l'âge de soixante-dix-sept ans et dix mois, dans les sentiments de la plus grande piété.

C'est dans ses leçons, ses conversations et ses lettres que Galilée exposait d'abord ses idées et ses découvertes. Les premiers ouvrages publiés par lui sont en général d'une date bien postérieure. Il en résulte une grande difficulté pour fixer la date de plusieurs des découvertes qui lui sont attribuées. Il en est ainsi notamment de la reconstitution de la lunette hollandaise ou lunette de Galilée, de l'application du pendule aux horloges, de la découverte du thermomètre, de l'expérience montrant que l'air est pesant, etc.

Nous nous bornerons à indiquer sommairement la liste et le contenu des principaux ouvrages de Galilée, en nous servant surtout de la notice d'Arago [1].

Sa première publication importante est le *Nuntius sidereus* (Firenze, mars 1610, in-4), dont nous avons parlé plus haut. En voici le titre complet, qui contient le résumé des découvertes décrites dans cet ouvrage : *Sidereus nuncius magna longeque admirabilia spectacula pandens suscipiendaque proponens unicuique, præsertim vero philosophis atque astronomis, quæ a Galilei Galileo, patricio florentino, patavii gymnasii publico mathematico perspicilli nuper a se reperti beneficio sunt observata in lunæ facie, fixis innumeris, lacteo circulo, stellis nebulosis, apprime vero in quatuor planetis circa Jovis stellam disparibus intervallis atque periodis celeritate mirabili circumvolutis, quos nemini in leone usque diem cognitos novissime auctor deprehendit primus atque medicea sidera nuncupandos decrevit.*

1612. — *Discorso intorno alle cose, che stanno in sù l'acqua o che in quella muovono.* Firenze, in-4. — Ouvrage consacré à la défense d'Archimède contre les attaques des péripatéticiens. Le principe des vitesses virtuelles s'y trouve énoncé pour la première fois.

1613. — *Storia e dimostrazioni intorno alle machie solari in tre lettere stritte da ....* Roma, in-4.

1623. — *Il saggiatore, nel quale si ponderano le cose contenute nella libra astronomica e filosofica di Lotario Sarsi, scritto in*

1. Arago, *Œuvres. Notices biographiques*, t. III, p. 264-296.

forma di lettera, dal signor Galileo Galilei. Roma, in-4. — C'est une dissertation sur la nature des comètes. « Considéré, dit Arago, par des juges compétents comme un chef-d'œuvre de style, de dialectique, de fine plaisanterie, le *Saggiatore* m'a paru d'une prolixité fatigante. »

1632. — *Dialogo suprà i due mastissimi sistemi del mondo, Tolemaïco e Copernicano.* Firenze, in-4. — Ce sont les fameux dialogues qui entraînèrent la condamnation de Galilée. Il y en a quatre, entre Salviati, noble florentin, Sagredo, noble vénitien, tous deux anciens protecteurs de Galilée, qui soutiennent le système de Copernic, et Simplicius, péripatéticien, qui le combat. Les Dialogues ont été traduits en latin et publiés sous le titre : *Systema cosmicum, auctore Galileo Galilei*, à Strasbourg, en 1635; à Lyon, en 1641; à Leyde, en 1699. Arago regrette vivement qu'au lieu d'employer la forme didactique, Galilée ait préféré celle des dialogues. « Je pourrais, dit-il (*loc. cit.*, p. 284), conseiller aux observateurs de ne pas perdre leur temps à cette lecture. Les choses les plus simples y sont exposées avec une prolixité qui, à notre époque, n'aurait pas d'excuses. Il faut y chercher les vérités dignes d'être retenues, et elles sont nombreuses, au milieu des fades compliments que s'adressent Salviati, Sagredo et Simplicius. »

1634. — *Lettera a madama Christina.* Leyde. — Galilée y discute ses découvertes au point de vue théologique et propose une interprétation nouvelle de la Bible. Cette lettre avait été écrite et répandue bien longtemps avant sa publication à Leyde.

1638. — *Discorsi e dimostrazione matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla mecanica e i movimenti locali.* Leyde. Appresso gli Elzevirii, 1638, in-4. — Cet ouvrage dont nous avons raconté plus haut la publication est, d'après Lagrange, Arago, Biot, l'œuvre la plus considérable de Galilée, celle qui montre le mieux le génie extraordinaire de l'auteur.

Il est partagé aussi en quatre journées ou dialogues entre les mêmes interlocuteurs, Salviati, Sagredo et Simplicius.

L'objet de la première journée ou du premier dialogue est le suivant : *Scientia nuova prima, intorno alla resistenza de i corpi solidi all' essere spezzati.* Les lois du pendule découvertes par Galilée depuis longtemps y sont pour la première fois formulées avec netteté. Nous les citons plus loin dans l'histoire du pendule.

Dans la deuxième journée : *Qual potesse esser la causa di tal coërenza*, Galilée étudie longuement la théorie du levier.

La troisième et la quatrième journée, intitulées : *de Motu locali* et *de Motu projectorum*, ont en grande partie la forme didactique et sont divisées, comme le sera plus tard le livre des principes de Newton, en définitions, axiomes, théorèmes, propositions. Toute la partie didactique y est en latin; seules, quelques portions de dialogues contenant des développements ou discussions sur le texte latin des propositions sont en italien. C'est dans ces deux journées que se trouvent exposées les lois du mouvement uniforme, du mouvement uniformément accéléré, les lois de la chute des corps suivant la verticale ou sur un plan incliné :

« Si aliquod mobile motu uniformiter accelerato descendat ex quiete; spatia, quibuscunque temporibus ab ipso peracta, sunt inter se in duplicata ratione eorumdem temporum; nempe ut eorumdem temporum quadrata » (p. 171).

« Si super plano inclinato, atque in perpendiculo, quorum eadem sit altitudo, feratur ex quiete idem mobile; tempora lationum erunt inter se, ut plani ipsius, et perpendiculi longitudines » (p. 177).

« Tempora lationum super planis æqualibus, sed inæqualiter inclinatis, sunt inter se in subdupla ratione elevationum eorumdem planorum permutatim accepta » (p. 178).

« Projectum dum fertur motu composito ex horizontali æquabili, et ex naturaliter accelerato deorsum, lineam semiparabolicam describit in sua latione » (p. 237).

A la suite des quatre journées se trouve un appendice,

in qua continentur theoremata, eorumque demonstrationes, quæ ab eodem autore circa centrum gravitatis solidorum olim conscripta fuerunt.

Les lois de la composition des forces y sont développées.

Cet ouvrage de Galilée est le seul dont il existe une traduc-

tion française, malheureusement très ancienne, insuffisante et difficile à trouver, sous ce titre : *Les nouvelles pensées de Galilée, où il est traité de la proportion des mouvements naturels et violents*. Paris, 1639, in-8.

1640. — *La operazione del compasso geometrico et militare*. Padova, in-8.

Les œuvres de Galilée, *Opere complete di Galileo Galilei*, ont été rééditées plusieurs fois : en 1744, Padova, 4 vol. in-4; — en 1808, Milano, 13 vol. in-8.

Enfin *Alberi* en a donné une édition complète : *Opere complete di Galileo Galilei*. Firenze, 1842-46, 16 vol. in-8.

Nous indiquerons maintenant quelques-uns des principaux ouvrages sur Galilée.

Viviani, *Vita di Galileo*, dans *Quinto libro degli elementi d'Euclide*, 1674. — Targioni-Tozzetti, *Atti et memorie inedite dell' Academia del Cimento*. Firenze, 1680, 3 vol. in-4. — Nelli (Clément), *Vita e commercio litterario di Galileo Galilei*. 3 vol. in-8. — Arago, *Notices biographiques*, t. III, 1855, in-8. — Biot, *Mélanges scientifiques et littéraires*, t. II et III, 1858, in-8. — J. Bertrand, *Galilée et ses travaux*, dans *Revue des Deux-Mondes*, 1er novembre 1864, et dans *les Fondateurs de l'astronomie moderne*, 1865, in-8. — Martin (Th.-H.), *Galilée, les droits de la science et la méthode des sciences physiques*. Paris, 1868. — Gilbert, *le Procès de Galilée*. Louvain, 1869. — Gilbert, *la Condamnation de Galilée*. Bruxelles, 1869. — L'Epinois (Henri de), *la Question de Galilée. Les faits et leurs conséquences*. Paris-Bruxelles, 1878, 1 vol. in-12. Ce volume, très complet et très intéressant, contient une bibliographie étendue des écrits sur Galilée. — Valson, *les Savants illustres du XVIe et du XVIIe siècle*, Paris-Bruxelles, 1880, 2 vol. in-12. — Marie (Maximilien), *Histoire des sciences mathématiques et physiques*, 12 vol. pet. in-8; Paris, Gauthier-Villars, 1883-1888; t. III. — Poggendorff, *Histoire de la physique*; traduit par MM. Bibart et de la Quesnerie. Paris, Dunod, 1883. — Antonio Favaro, *Galileo Galilei é lo studio di Padova*. Firenze, 1883, 2 vol. in-8.

Quant au manuscrit du procès, contenant tous les actes qui y sont relatifs, il a subi de nombreuses vicissitudes. Enlevé lors de la prise de Rome par les troupes de Napoléon, et transporté à Paris, il ne fut restitué au Saint-Siège, malgré de nombreuses réclamations, qu'en 1846 ou 1847. Déposé aux Archives du

Vatican en 1850, après le retour de Pie IX à Rome, il y est resté. Publié en partie en 1850, puis en 1857, il fut publié intégralement en 1877, par M. de l'Epinois sous ce titre : *les Pièces du procès de Galilée*, Rome et Paris, 1877, in-8; et quelques mois après, en Allemagne, par M. de Gebler. — J. G.

CHAPITRE II

HISTOIRE DU PENDULE

Nous empruntons à la très intéressante Introduction historique, mise par M. C. Wolf, en tête du tome IV de la *Collection de mémoires publiés par la Société française de Physique*, le résumé suivant de l'histoire du pendule. Nous reproduisons le texte de M. Wolf. Nous nous sommes borné à y faire quelques coupures et à y intercaler les citations qui se trouvent, à la suite de l'Introduction, dans la bibliographie du pendule.

L'histoire du pendule naît avec la découverte de l'isochronisme de ses oscillations vers 1589, et l'établissement des lois de son mouvement par Galilée en 1629. Quelques auteurs ont voulu faire honneur de la loi de l'isochronisme et de son application à la mesure du temps, soit aux astronomes arabes (Bernard d'Oxford, 1684), soit à Justus Bürgi ou Byrgius (Becher, 1680), soit à Descartes (Bordas-Demoulin, 1876). Rien n'est venu démontrer l'exactitude de ces prétentions.

C'est dans l'ouvrage célèbre : *Dialogo intorno ai due massimi sistemi del mondo*, *Tolemaico e Copernicano*, publié à Florence, en 1632, que les lois principales du mouvement du pendule se trouvent énoncées incidemment pour la première fois. (*Giornata secunda* et *Giornata quarta.*) Elles sont exposées en détail dans l'ouvrage suivant : *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove*

scienze attenenti alla mecanica e i movimenti locali. Altrimenti, Dialoghe delle nuove scienze. La première édition de cet ouvrage a paru à Leyde en 1638 chez les Elzévir. Il forme le tome XIII de la grande édition des œuvres de Galilée, publiée par Albéri, à Florence, en 1842. D'après un des plus récents historiographes de Galilée, M. Antonio Favaro (*Galileo Galilei e lo studio di Padova*; 2 vol. in-8, Firenze, 1883), la découverte de l'isochronisme des oscillations du pendule aurait été faite peu après 1581, certainement avant 1589.

Voici l'énoncé de ces lois :

(P. 84.) « J'ai pris deux balles, l'une de plomb, l'autre de liège, celle-là bien plus de cent fois plus lourde que celle-ci, toutes deux attachées à des fils fins et égaux, longs de 4 à 5 coudées, fixés par le haut. Puis les ayant éloignées l'une et l'autre de la verticale, je les ai laissées aller en même temps; et toutes deux descendant le long des circonférences des cercles décrits par les fils et de rayons égaux, dépassèrent la verticale; puis elles revinrent en arrière par le même chemin et répétant bien cent fois les mêmes allées et venues, elles ont montré d'une manière évidente que la boule lourde marche tellement dans le même temps que la légère, qu'elle ne dépasse pas ce temps ni en cent oscillations, ni en mille du plus petit intervalle, mais elle marche d'un pas tout à fait égal [1]. »

1. Ho preso due palle, una di piombo e una di sughero, quella ben più di cento volte più grave di questa, e ciascheduna di loro hò attacata a due sottili spaghetti eguali lunghi quattro, o cinque braccia, legati ad alto; allontanata poi l'una e l'altra palla dallo stato perpendicolare, gli ho dato l'andare nell'istesso momento, ed esse scendendo per le circonferenze di cerchi descritti da gli spaghi, eguali lor semidiametri, passate oltre al perpendicolo, son poi per le medesime strade ritornate indietro; e reiterando ben cento volte per lor medesime le andate, e le tornate, hanno sensatamente mostrato, come la grave va talmente sotto il tempo della leggierá, che nè in ben cento vibrazioni, nè in mille anticipa il tempo d'un minimo momento; ma camminano con passo egualissimo.

(P. 85.) « Eloignant le pendule de plomb de 50° de la verticale, et le laissant en liberté, il court et, dépassant la verticale presque de 50 autres degrés, il décrit un arc de près de 100 degrés. Retournant alors en arrière sur lui-même, il décrit un autre arc plus petit; et continuant ses oscillations, après un grand nombre de celles-ci, il revient enfin au repos. *Chacune de ses oscillations se fait dans des temps égaux*, tant celle de 90°, que celle de 50°, ou de 20°, de 10°, de 4°. Il s'ensuit que la rapidité du mobile diminue toujours, puisque dans des temps égaux il décrit successivement des arcs de plus en plus petits [1]. »

(P. 96.) « Ensuite quant à la proportion des temps des oscillations des mobiles suspendus à des fils de différentes longueurs, des expériences répétées, que chacun peut faire, m'ont démontré que ces temps sont en proportion sous-doublée des longueurs des fils; en d'autres termes, les longueurs des fils sont en proportion doublée des temps; c'est-à-dire elles sont comme les carrés des temps des oscillations isolées ou d'un égal nombre d'oscillations; de sorte que, si on veut que le temps des oscillations d'un pendule soit double du temps des oscillations d'un autre, il faut que la longueur de la corde de celui-là soit quadruple de la longueur de la corde de celui-ci. Et alors dans le temps d'une vibration d'un pendule, un autre en fera trois, si sa corde est neuf fois plus longue que celle de l'autre. Il suit de là que les longueurs des cordes ont entre elles la proportion réciproque qu'ont les carrés

1. Slargato il pendolo del piombo, v. gr., cinquanta gradi dal perpendicolo, e di li lasciato in libertà scorre, e passando oltre al perpendicolo quasi altri cinquanta, descrive l'arco di quasi cento gradi; e ritornando per sè stesso indietro descrive un altro poco minore arco, e continuando le sue vibrazioni, dopo gran numero di quelle, si reduce finalmente alla quiete. Ciascheduna di tali vibrazioni si fa sotto tempi eguali, tanto quella di nonanta gradi, quanto quella di cinquanta, o di venti, di dieci, di quattro; si che in conseguenza la velocità del mobile vien sempre languendo, poiché sotto tempi eguali va passando successivamente archi sempre minori, e minori.

des nombres des oscillations qui se font dans le même temps [1]. »

L'une des premières applications du pendule fut celle qui en fut faite aux horloges. La substitution d'un pendule rigide au balancier des anciennes horloges a marqué un tel progrès dans les appareils destinés à la mesure du temps, que plusieurs pays se sont disputé la gloire d'avoir donné le jour à l'auteur de cette application du pendule. Galilée et Huyghens y ont seuls des droits incontestables. Galilée en eut l'idée dès 1641; le dessin du mécanisme qu'il avait imaginé a été retrouvé et publié par M. Albéri en 1856. Huyghens fit connaître et breveter son horloge à pendule en 1657, sans avoir aucune connaissance du projet de Galilée. Ce projet, en effet, par la mort de son auteur, puis par la négligence de Vincenzo Galilei et de Viviani, n'avait jamais été publié et ne fut même jamais complètement réalisé. L'honneur de l'application du pendule aux horloges doit donc rester à Huyghens.

En 1669, l'abbé Picard remarque l'action de la température sur la marche des horloges à pendule, qui retardent en été et avancent en hiver. L'invention du pendule à gril par Harrison, en 1725, et celle du pendule à mercure, par Graham, en 1726, permirent de corriger ce défaut.

1. Quanto poi alla proporzione dei tempi delli vibrazioni di mobili pendenti da fila di differente lunghezza, *le replicate sperienze, con lequali ciascuno puo soddisfarsi, ni hanno demostrato* che sono esse tempi in proporzione suddupla delle lunghezze delle fila, o vogliam dire lunghezze essere in duplicata proporzione dei tempi, cioè son come i quadrati dei tempi *delle singolari vibrazioni, o d'equal numero di vibrazioni*; si che volendo, v. gr., che in tempo d'una vibrazione d'un pendolo sia doppio del tempo d'una vibrazione d'un altro, bisogna che la lunghezza della corda di quello sia quadrupla della lunghezza della corda di questo. Ed allora nel tempo d'una vibrazione di quello, un altro ne farà tre, quando la corda di quelló sarà nove volte più lunga dell' altra. Dalche ne seguita che le lunghezze delle corde hanno fra di loro la proporzione *reciproca* che hanno i quadrati de numeri delle vibrazioni che si fanno nello medesimo tempo.

Galilée avait établi les lois du mouvement du pendule simple plutôt par intuition que par l'expérience, et l'on doit faire à ce sujet la même remarque qui a été faite souvent sur la découverte des lois de Kepler : c'est qu'il est fort heureux qu'il se soit contenté d'expériences grossières, sans précision aucune, et qu'il n'ait pas cherché une vérification exacte des lois qu'il énonçait. Ses observations sur l'isochronisme des oscillations s'étendent à des arcs de 90°, de part et d'autre de la verticale; comment n'a-t-il pas vu que de pareilles oscillations sont beaucoup plus lentes que les très petites? On ne peut qu'admirer son génie d'avoir su démêler, dans ces essais informes, ce qui devait être la loi de la nature, et bénir le ciel qu'il ne se soit pas laissé arrêter par les divergences que devaient pourtant manifester et la mesure des durées et la mesure des longueurs.

C'est au P. Mersenne [1] que revient l'honneur d'avoir compris que dans un corps matériel en oscillation il n'y a qu'un seul point (ou une série de points en ligne droite) qui oscille comme s'il était libre. En 1646, il soumit aux géomètres le problème de la détermination du *centre d'agitation ou de balancement*, c'est-à-dire de la détermination de la longueur du pendule simple synchrone du

1. Le R. P. *Marin Marsenne*, né dans le Maine en 1588, mort en 1648; il fit ses études au collège des Jésuites de la Flèche, où il eut Descartes pour condisciple; il resta toute sa vie intimement lié avec lui. Au sortir du collège, pendant que son ami Descartes allait guerroyer et philosopher en Hollande et en Hongrie, il entra chez les religieux minimes du couvent de Meaux. — BAILLET, dans sa *Vie de Descartes*, en a fait le portrait suivant : « Mersenne était le savant du siècle qui avait le meilleur cœur; on ne pouvait l'aborder sans se laisser prendre à ses charmes. Jamais mortel ne fut plus curieux pour pénétrer les secrets de la nature et porter les sciences à leur perfection. Les relations qu'il entretenait avec tous les savants en avaient fait le centre de tous les gens de lettres. C'était à lui qu'ils adressaient leurs doutes pour être proposés, par son moyen, à ceux dont on attendait les solutions; faisant à peu près dans la république des lettres la fonction que fait le cœur dans le corps humain. » — J. G.

pendule composé. Cependant les termes du problème ne sont pas encore nettement définis; pour le P. Mersenne et pour Descartes, le pendule simple est « un plomb suspendu à un filet ». — « L'autre point de votre lettre, dit Descartes au P. Mersenne, auquel je ne veux pas différer de répondre, est la question touchant la grandeur que doit avoir chaque corps, de quelque figure qu'il soit, étant suspendu en l'air par une de ses extrémités, pour y faire ses tours et retours égaux à ceux d'un plomb pendu à un filet de longueur donnée.... » (Lettre du 22 mars 1646.) Une assez vive discussion s'éleva sur ce sujet entre Descartes, le P. Mersenne, Cavendish et Roberval; mais leurs efforts n'aboutirent pas à une solution complète de la question.

Celle-ci fut donnée pour la première fois dans le célèbre ouvrage de Huyghens [1], dédié à Louis XIV : *Horologium oscillatorium, sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricæ*, in-fol., Paris, 1673. — Premier volume des *Opera varia*, édition de S'Gravesande, in-4, Amsterdam, 1724.

C'est dans la quatrième partie : *de Centro oscillationis seu agitationis*, que se trouvent décrites les lois du pendule *composé*, la loi de la réciprocité des centres d'oscillation et de suspension, et par suite la première détermination exacte du centre d'oscillation, vainement tentée par le P. Mersenne, Descartes, Roberval, etc.

« Prop. XX : *Centrum oscillationis et punctum suspensionis inter se convertuntur.* »

Dans le même ouvrage (*pars quarta*), se trouve aussi la première détermination, au moyen du pendule, de l'espace parcouru par un corps dans la première seconde de sa chute :

« Prop. XXVI : *Spatium definire, quod gravia, perpendiculariter cadentia, dato tempore percurrunt.* »

1. Voir plus loin, p. 273, la notice sur Huyghens.

Le P. Mersenne fit aussi la première détermination de la longueur du pendule à secondes (1644). Le P. Riccioli[1] en donna une autre, dans son *Almageste*, en 1647, et, enfin, l'abbé Picard[2], en 1669, commença à faire cette détermination avec une certaine précision. Le pendule quasi simple qu'il employait, et qu'employèrent tous les physiciens et astronomes jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, était formé d'une boule de plomb ou de cuivre, d'un pouce environ de diamètre, suspendue à un fil de pite ou d'aloès, que l'on serrait à sa partie supérieure entre les mâchoires d'une pince métallique carrée, solidement fixée.

« La longueur du pendule doit être mesurée, dit l'abbé Picard, depuis le haut du filet (ou la face inférieure de la pince) jusqu'au centre de la boule, supposé que le diamètre n'excède guère la trente-sixième partie de la longueur du fil; autrement, il faudrait tenir compte d'une partie proportionnelle que nous négligeons ici. Il faut aussi prendre garde que les vibrations soient petites, parce qu'au-dessus d'une certaine grandeur elles sont entre elles d'inégale durée. »

La mesure de la longueur du pendule se prenait à l'aide d'une règle de fer, dont on appuyait un bout contre la pince carrée, et dont on modifiait la longueur jusqu'à ce qu'elle vînt toucher exactement le sommet supérieur de la boule. On avait ainsi le moyen de reproduire partout un pendule identique à celui qu'on avait employé une première fois, à la seule condition de faire usage toujours de la même boule. Le diamètre de celle-ci se mesurait au compas. Ce procédé pour faire un pendule de longueur constante est clairement exposé dans les *Instructions*

1. *Riccioli*, né en 1598, mort en 1671; jésuite et astronome.

2. L'*abbé Picard*, prieur de Rillé en Anjou, né à la Flèche en 1620, mort en 1682; — excellent astronome, dit Arago, très exact, très désintéressé; auteur de la première mesure exacte d'un degré du méridien; amena Rœmer à Paris, à la suite de son voyage en Danemark en 1671; professeur au Collège de France en 1655. — J. G.

rédigées par J.-D. Cassini [1], en 1681, pour l'usage des voyageurs envoyés par l'Académie en différents lieux du globe. C'est celui qu'ont employé Picard et Richer dans leurs voyages à Uranibourg (1671) et à Cayenne (1672).

Bouguer [2] modifia le pendule en remplaçant la boule par un poids formé de deux cônes tronqués accolés par leur plus grande base. Il appliquait une règle graduée par un bout contre la pince et par l'autre sur la base supérieure du double cône tronqué. C'est dans le mémoire de La Condamine [3] *Sur la mesure du pendule à Saint-Domingue*, et surtout dans le mémoire, très complet, où le P. Boscovich [4] a résumé l'état des connaissances sur la mesure du pendule (1785), qu'il faut cher-

1. *J.-Domin. Cassini,* né à Périnaldo (comté de Nice) en 1625, succéda à Cavalleri en 1650 à l'université de Bologne; il fut appelé à Paris par Colbert sur les indications de l'abbé Picard, pour diriger l'Observatoire récemment fondé (1669); et mourut aveugle en 1712, à l'âge de quatre-vingt-sept ans. Il fut le premier de cette brillante famille des Cassini dont quatre générations se succédèrent à l'Académie des sciences et à la direction de l'Observatoire : J.-Dom. Cassini I[er] (1625-1712); Jac.-Cassini II (1677-1756); César-François Cassini III (1714-1784); Jac.-Domin. Cassini IV (1748-1845), qui fut directeur de l'Observatoire jusqu'en 1793. — J. G.

2. *Pierre Bouguer,* né au Croisic, en Bretagne, en 1698, mort en 1758 à Paris, fut professeur d'hydrographie et membre de l'Académie des sciences. — J. G.

3. *Charles-Marie de la Condamine,* né à Paris en 1701, mort en 1774; débuta avec éclat dans la carrière militaire, puis l'abandonna pour s'adonner aux sciences, et fut nommé membre de l'Académie des sciences en 1730. Il fit un grand nombre de voyages scientifiques. Le plus célèbre et le plus périlleux fut celui qu'il fit en Amérique de 1735 à 1743, pendant lequel, seul avec un serviteur, il descendit la rivière des Amazones jusqu'à Cayenne. — M. Max. Marie le regarde comme inférieur à son collègue Bouguer. — J. G.

4. *Boscovich,* né à Raguse en 1711, mort à Milan en 1787; entra jeune dans la Société de Jésus et professa dans plusieurs de ses collèges. Chargé de nombreuses missions, il fut appelé à Paris par Louis XVI après la suppression des Jésuites, et nommé directeur de l'optique de la marine. Il était membre de la plupart des Académies d'Europe. — J. G.

cher les perfectionnements apportés à la fin du XVIIIe siècle dans la mesure de la longueur du pendule quasi simple. On y trouve indiqués ou même déjà réalisés tous les détails ingénieux que l'on est habitué à considérer comme ayant été appliqués pour la première fois par Borda.

La détermination de la durée des oscillations se faisait par comparaison avec les battements du balancier d'une horloge à secondes de temps moyen. On faisait partir le pendule de façon qu'il oscillât en même temps que le balancier et dans le même sens, « et l'on revenait voir de temps en temps ce qui se passait; car, pour peu que le pendule simple fût ou plus long ou plus court qu'il ne fallait, on s'apercevait en moins d'une heure de quelque discordance ». (Picard, 1669; J.-D. Cassini, 1681.) On accourcissait alors ou on allongeait le pendule en faisant glisser le fil dans la pince de suspension, jusqu'à ce que l'accord persistant fût obtenu.

La méthode des coïncidences sous sa forme définitive est exposée avec de minutieux détails, dans l'ouvrage du P. Boscovich, déjà cité (1785) : « Habeatur horologium oscillatorium, ante quod ad exiguam distantiam collocetur machina penduli, observatore posito ante ipsam; is autem ad habendam determinationem magis accuratam, poterit applicare oculum ad exiguum foramen excavatum in chartâ crassiore, et affixum fulcro cuipiam.... collocando ipsum in directione quam habent pendula horologii et machinæ *dum quiescunt*, in qua directione collocari potest post pendulum horologii charta, vel tabella cum recta linea verticali crassiore.... Impresso motu utrique pendulo, expectandum erit, donec virga illius et filum hujus simul perveniant ad medium oscillationis denotatum ab illa linea posteriore, ubi cum celerrime transeant, facile erit oculo collocato ad foramen notare oscillationem, in qua transeunt simul. » (Boscovich, *Opera*, t. V, p. 202.) Il est impossible de mieux décrire, jusque dans ses moin-

dres détails, la méthode d'observation des coïncidences, telle qu'elle a été employée plus tard par Borda, Kater, Bessel, etc.

Le milieu fluide dans lequel le pendule exécute ses oscillations exerce sur son mouvement une double influence : le poids de la masse oscillante est diminué d'une quantité égale au poids du fluide déplacé ; en second lieu, la force motrice est employée en partie à mettre en mouvement une partie du fluide environnant. De là, une double correction, dont il est intéressant de suivre l'introduction dans les observations du pendule.

La résistance de l'air fut étudiée pour la première fois, par Newton, dans son immortel ouvrage : *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (édition de 1686), lib. II, sect. VII. Il fit osciller dans l'air et dans l'eau un pendule de 10 pieds et demi de long, à boule de bois et à boule de plomb, puis, dans le mercure et dans l'eau, un pendule semblable à boule de fer. Mais, comme le fait remarquer Bessel, il ne s'occupa que du décroissement de l'amplitude, sans déterminer les durées mêmes des oscillations. Il crut donc que le fluide n'avait pas d'effet sensible sur cette durée, la quantité dont était diminuée la durée de la demi-oscillation ascendante étant compensée par l'augmentation de durée de la demi-oscillation descendante. Ce principe a été universellement admis jusqu'à Bessel, et on le trouve très nettement exposé par Bouguer, à la page 341 de *la Figure de la Terre*.

La seule correction que Bouguer fasse subir à la durée de l'oscillation dans l'air est la *correction hydrostatique*, c'est-à-dire celle qui provient de la perte de poids que la boule éprouve dans ce fluide, et il obtient cette perte de poids par une méthode très élégante, et avec une précision beaucoup plus grande que n'aurait pu la lui donner la connaissance très imparfaite que l'on avait alors du poids de l'air. « L'usage du baromètre, dit-il, nous met en état de découvrir le rapport qu'il y a entre la

pesanteur du mercure et celle de l'air dans tous les endroits de l'atmosphère qui sont accessibles. Nous voyons combien il faut monter ou descendre de pieds pour que le mercure change de hauteur d'une ligne. C'en est assez pour qu'on puisse toujours marquer au juste la pesanteur spécifique de l'air par rapport à celle de tous les autres corps. J'ai trouvé, de cette sorte, qu'il ne fallait exprimer la première que par l'unité sur le sommet du Pichincha [1], si l'on exprimait celle du cuivre par 11 000. Or il suit de là que le petit poids de mon pendule perdait sur cette montagne la 11 000e partie de sa pesanteur. Cette diminution ou cette perte produit le même effet que si elle se fût faite réellement sur la force motrice même; et, par une suite naturelle, je trouvais toujours le pendule à secondes trop court d'une 11 000e partie.... C'est la première fois qu'on a égard à cette petite correction dans les expériences dont il s'agit actuellement; mais nous ne pouvons pas la négliger, si nous voulons pousser les choses jusqu'à la plus grande exactitude, et si d'un autre côté nous devons ajouter foi aux principes les plus certains de l'hydrostatique. » (Bouguer, *la Figure de la Terre*, Paris, 1749, p. 340.)

La correction de la perte de poids dans l'air est souvent, en raison de cette affirmation, appelée *correction de Bouguer*.

Il nous faut encore recourir au travail du P. Boscovich pour trouver amplement détaillée la manière de faire la réduction au vide. Nous y trouvons, en même temps, l'indication très nette d'une autre correction qui pourrait être nécessitée par la présence de l'air. « Effectus aeris... est duplex : primo quidem ejus gravitas imminuit vim gravitatis massæ per quantitatem respondentem gravitati specificæ utriusque.... Deinde resistentia quæ oritur e

1. Dans les Andes de la république de l'Équateur, à 11 kilomètres O. de Quito, par 0° 0′ 11″ lat. S. et 4 854 mètres d'altitude. — J. G.

motu impresso aeri a massa oscillante retardat ibidem oscillationes singulas, adeoque imminuit numerum oscillationum respondentium dato tempori. Ea accurato calculo determinari non potest, cum nondum inventa sit ratio determinandi per calculum effectus resistentiæ fluidorum potissimum elasticorum sine hypothesibus arbitrariis. » C'est là une phrase que nous trouverons répétée longtemps encore. Boscovich donne, d'ailleurs, le moyen de rendre très petite ou même nulle l'influence de l'air et même le moyen de la déterminer : il faut opérer avec une boule de matière très dense et se borner à de très petites oscillations. On peut aussi trouver l'effet de l'air sur le pendule en observant le même appareil, d'abord à l'air libre, puis dans le vide de la machine pneumatique, et répétant ces observations avec des amplitudes très diverses. Boscovich traçait ainsi, dès 1785, le programme d'expériences qui ne devaient être réalisées que longtemps après lui.

Reste enfin la réduction au niveau de la mer. Celle-ci paraît due entièrement à Bouguer, qui l'a traitée en détail dans *la Figure de la Terre*, sect. VII, art. III, p. 357 : *Remarques sur la diminution que reçoit la pesanteur à différentes hauteurs au-dessus du niveau de la mer*.

L'opuscule du P. Boscovich, comme on en peut juger par les citations que j'en ai faites, résume et complète en beaucoup de points la théorie et la pratique de l'observation du pendule à boule suspendue à un fil, et nous pouvons le considérer comme la représentation exacte de l'état de la science à la fin du XVIIIe siècle. Mais Boscovich ne fit aucune application des méthodes qu'il avait si bien exposées, et c'est à Borda [1] que revient l'honneur de les

1. *Borda* (Jean-Charles), né à Dax en 1733, mort en 1799; élève du collège de la Flèche, il entra dans le génie militaire, et fut adjoint à diverses expéditions scientifiques, notamment à celle de Delambre et Méchain pour la mesure d'un arc du méridien. Peu d'hommes ont rendu autant de services que lui à l'art nautique par l'exactitude des

avoir mises en œuvre. Dans les expériences qu'il fit avec Cassini IV à l'observatoire de Paris, en 1792, pour répondre au vœu de la Commission des poids et mesures, il réalisa, avec la perfection que permettait de donner aux appareils le concours d'artistes tels que Fortin et Lenoir, l'ensemble des améliorations qui avaient été successivement apportées au pendule de Picard.

Nous empruntons ici à Borda lui-même (*Expériences pour connaître la longueur du pendule qui bat les secondes à Paris*, extrait du tome III de la *Base du système métrique décimal*, Paris, 1810, reproduit dans le tome IV de la *Collection de Mémoires relatifs à la Physique*, publiés par la Société française de physique, p. 17), la description du pendule dont il se servit avec Cassini :

« Notre pendule était porté par une suspension à couteau.... A ce couteau est fixée une queue inférieure à laquelle le fil est attaché, et une pièce montante finissant par une vis, avec un petit bouton mobile le long de la vis. C'est au moyen de ce bouton, qui servait en partie de contrepoids à la queue inférieure, qu'on réglait le mouvement oscillatoire du couteau et qu'on parvenait à lui donner la même durée qu'à celui du pendule. Ce synchronisme une fois établi, il est clair que le mouvement du pendule, n'étant pas contrarié par celui du couteau, devait être le même que si la masse du couteau et de sa monture avait été pour ainsi dire nulle....

« La suspension portait sur un plan d'acier.... Le genre de suspension étant ainsi déterminé, nous avons cherché quelle était l'espèce de fil que nous devions employer. Nous avons vu d'abord que les fils métalliques devaient être préférés aux fils de soie ou composés de végétaux, parce que ceux-ci, à force égale, présentent

instruments et des méthodes qu'il a inventés. Ami intime de Coulomb, il se réfugia avec lui près de Blois après la suppression de l'Académie des sciences en 1793. — J. G.

plus de surface à la résistance de l'air, et qu'ils ont d'ailleurs des inégalités dont les premiers sont exempts, étant passés à la filière; ensuite, parmi les fils métalliques, nous avons préféré celui de fer qui, à égalité de force, est plus léger et a moins de surface que les autres....

« Le corps oscillant dont nous nous sommes servis était une boule de platine d'environ 16 lignes 1/6 (36 mm. 47) de diamètre et pesant 9 911 grains (526 gr. 415) ou un peu plus de 17 onces [1]. La densité de ce métal supérieure, comme l'on sait, à celle de tous les corps connus, devait nous le faire préférer à tout autre.... Notre boule tenait au fil, au moyen d'une petite calotte de cuivre,... dont la partie inférieure était une portion de sphère d'un rayon égal à celui de la boule. Une légère couche de suif mise entre la boule et la calotte produisait une adhérence assez forte pour soutenir le poids : par ce moyen on avait la facilité de suspendre la boule successivement par différents points de sa surface, ce qui servait à corriger les erreurs venant de l'inégale densité des parties de la boule ou même de sa non-sphéricité. En effet, faisant des observations d'abord sur un point, ensuite sur le point diamétralement opposé, et prenant un milieu entre ces observations, le résultat moyen devait être le même que si la boule avait été de densité uniforme et exactement sphérique. Le fil du pendule passait par un petit trou pratiqué dans la partie supérieure qui excédait la calotte, et y était tenu par une vis de pression.... »

La méthode des coïncidences fut appliquée exactement telle que l'avait décrite Boscovich. La loi du décroissement des amplitudes en progression géométrique, établie par Bouguer, fut traduite, pour la réduction à l'arc infiniment petit, en une formule simple dont la démonstration

1. Cette boule de platine est conservée aux archives de l'Observatoire de Paris : c'est le seul débris qui nous reste de l'appareil de Borda. — C. W.

fut donnée plus tard par Mathieu, dans la *Connaissance des Temps pour 1826.*

Borda et Cassini avaient ainsi résumé, dans leur mémorable expérience, tous les perfectionnements que leurs prédécesseurs avaient successivement imaginés. Après eux, la méthode du pendule quasi simple ne pouvait qu'être conservée sous la forme qu'ils lui avaient donnée, ou être renversée par une révolution dans la théorie du pendule. Ce fut cette révolution qui se produisit, et elle eut pour précurseurs deux savants ingénieurs français, du Buat et de Prony.

En 1792, au moment où l'Académie des sciences décidait que la mesure du pendule battant la seconde à Paris serait faite en même temps que les autres déterminations nécessaires pour l'établissement du système métrique, le chevalier de Prony [1] lui proposa d'exécuter cette mesure par un procédé entièrement nouveau, quoique fondé sur des principes bien connus. Au pendule presque simple, jusqu'alors seul usité dans les mesures absolues de la pesanteur, il substituait un balancier métallique rigide et de poids considérable, pouvant osciller sur des axes fixes, parallèles et compris tous dans un même plan passant par le centre de gravité de l'appareil. La détermination des durées d'oscillation sur trois axes suffisait pour calculer le moment d'inertie du système par rapport au centre de gravité, et, par conséquent, les longueurs

1. Gaspard-Clair-François-Marie-Riche *de Prony,* né à Chamelet (département du Rhône), le 22 juillet 1755. Son père était membre de l'ancien parlement des Dombes. Prony fit ses études au collège de Toissey-en-Dombes et entra en 1776 à l'École des ponts et chaussées. Il n'échappa à la mort en 1793 que par la protection de Carnot, auquel il garda une profonde reconnaissance. Il refusa de suivre Napoléon en Égypte et celui-ci lui en garda longtemps rancune. L'empereur reconnut plus tard son éclatant mérite, et il avait coutume de dire quand on discutait un projet devant lui : « Qu'en pense Prony? » Ingénieur éminent, il prit part à tous les grands travaux du commencement du siècle. Il mourut en 1839, à l'âge de quatre-vingt-quatre ans. — J. G.

des trois pendules simples synchrones, par la mesure des distances des axes au centre de gravité lui-même. Une commission de l'Académie, composée de Leroi, Laplace, Legendre et Delambre, jugea le procédé ingénieux, mais bien plus compliqué et bien plus dispendieux que la méthode du pendule à boule. De Prony abandonna donc pour un temps son idée. Il fut ramené à s'en occuper de nouveau en 1798, par une proposition que lui fit son ami Bréguet de construire son pendule à plusieurs axes; et c'est alors qu'il arriva, par l'examen de sa formule, à concevoir un appareil qui, « tout en conservant les avantages de la grandeur de la masse, de l'invariabilité de sa forme, de sa solidité, de sa durée indéfinie, etc..., donne la position du centre d'oscillation visible et fixée sur ce corps, de manière qu'on peut mesurer sa distance à la suspension avec la précision la plus rigoureuse et par le même procédé qu'on emploie pour vérifier la longueur d'un étalon de mesure. La nouvelle théorie est fondée sur les propriétés suivantes : ... si, après avoir fait osciller un corps sur un axe quelconque de suspension auquel correspond un centre d'oscillation déterminé, on fait osciller le corps sur ce centre d'oscillation considéré comme point de suspension, les nombres d'oscillations pendant des temps égaux seront les mêmes dans les deux cas ». Le reste du *Mémoire*, présenté à la première classe de l'Institut, le 11 vendémiaire an IX (3 octobre 1800), donne les moyens de construire un pareil pendule et les procédés de réglage à employer pour obtenir la réciprocité des deux axes de suspension. Cet appareil de Prony est celui auquel Schumacher a donné, plus tard, le nom de *pendule réversible*.

Mais le pendule de Prony ne fut pas construit; son Mémoire resta enfoui dans les archives des ponts et chaussées, où il a été retrouvé dernièrement par M. le capitaine Defforges [1] (1888).

1. Le mémoire de Prony a été publié pour la première fois dans

Bohnenberger, en 1811, dans son *Astronomie* publiée à Tübingen, montra, de son côté, comment le principe de Huyghens touchant la réciprocité des axes de suspension et d'oscillation pouvait conduire à la construction d'un pendule rigide donnant immédiatement la longueur d'un pendule simple synchrone.

En 1817, et toujours sans connaître les travaux de ses deux prédécesseurs, le capitaine Kater, chargé par le Comité des poids et mesures de la Société Royale de Londres de mesurer la longueur du pendule simple à secondes, fonda sa méthode sur le même principe, et réalisa, pour la première fois, le pendule réversible sous sa forme pratique, qui porte, à juste titre, le nom du savant ingénieur anglais.

Du Buat, dans ses *Principes d'hydraulique* (Paris, 1786), et après lui, Bessel, dans son mémoire de l'*Influence d'un milieu résistant sur le mouvement d'un pendule* (1826-27), firent remarquer l'inexactitude de la correction usitée pour la réduction au vide des oscillations du pendule et donnèrent, pour cette correction, une formule nouvelle et plus exacte.

Bessel admet que les choses se passent *comme si* une masse de fluide égale à $n-1$ fois le fluide déplacé était mise en mouvement par la force motrice du pendule. Cet entraînement n'est qu'une image propre à représenter l'effet mécanique du fluide. Pour du Buat, l'entraînement est réel, et il en prouve l'existence par l'expérience curieuse du flocon de plume ou du brin de laine qui, suspendu à distance du pendule dans l'air, en suit exactement les mouvements.

Pour du Buat, comme pour Bessel, la résistance du fluide au mouvement du pendule qui produit le décroissement de l'amplitude est distincte de la cause qui pro-

le tome IV de la Collection de Mémoires publiés par la Société française de physique (Paris, 1889).

duit le ralentissement de l'oscillation, et ni l'un ni l'autre ne s'explique sur l'origine des deux forces.

L'une des applications les plus importantes de l'observation du pendule est celle que Newton en a faite à la démonstration d'une des lois fondamentales de l'attraction, la proportionnalité du poids d'un corps à sa masse.

Voici le texte de Newton, d'après la traduction française du livre des *Principes*, par la marquise du Châstelet (Paris, 1759). Le texte latin de la première édition est de 1686.

« Système du monde. Propos. VI. Théor. VI. — *Tous* « *les corps gravitent vers chaque planète, et sur la même* « *planète quelconque leurs poids, à égale distance du centre,* « *sont proportionnels à la quantité de matière que chacun* « *d'eux contient.* »

« Tous les corps descendent vers la terre dans des temps égaux (en faisant abstraction de l'inégale retardation causée par la petite résistance de l'air). C'est ce que plusieurs philosophes avaient déjà observé, et ce qu'on peut connaître avec précision par l'égalité des temps dans lesquels se font les oscillations des pendules. J'en ai fait l'expérience avec des pendules d'or, d'argent, de plomb, de verre, de sable, de sel commun, de bois, d'eau et de froment. Pour y réussir, je fis faire deux boëtes de bois rondes et égales, j'en emplis une de bois, et je mis un poids égal d'or dans l'autre, en le plaçant aussi exactement que je le pus dans le point qui répondait au centre d'oscillation de la première boëte. Ces boëtes étaient suspendues à deux fils égaux de 11 pieds chacun; ainsi, j'avais par là deux pendules entièrement pareils, quant au poids, à la figure et à la résistance de l'air. Ces pendules dont les poids étaient placés à côté l'un de l'autre, firent des oscillations qui se suivirent pendant un très long temps. Donc, la quantité de matière de l'or,

était à la quantité de matière du bois, comme l'action de la force motrice sur tout l'or, à cette même action sur tout le bois, c'est-à-dire comme le poids au poids. Il en fut de même dans les autres pendules. Dans ces expériences, une différence d'un millième dans la matière des corps de même poids était aisée à apercevoir. »

C'est dans la proposition X, théor. X du 3e livre des *Principes* (édition de 1726), que se trouve décrite pour la première fois l'expérience dite du *tube de Newton* :

« .... Nous ne connaissons que l'air, les exhalaisons et les vapeurs, qui résistent près de la surface de la terre, puisque lorsque l'on les a ôtés avec soin du récipient d'une machine pneumatique les corps y tombent librement, et sans éprouver aucune résistance sensible; en sorte que l'or même et une plume très légère étant jetés ensemble tombent avec une vitesse égale, et arrivent en même temps au fond de la machine en tombant de la hauteur de 4, 6 ou 8 pieds. Il est donc clair que les planettes pourront se mouvoir très longtemps sans éprouver de résistance sensible dans les espaces célestes vuides d'air et d'exhalaisons [1]. »

Les premiers observateurs considéraient la longueur du pendule à secondes comme invariable dans les différents lieux. Telle fut d'abord l'opinion de Huyghens, de l'abbé Picard, de l'abbé Mouton; et elle sembla vérifiée par l'identité des résultats obtenus par le second de ces observateurs, depuis Cette et Bayonne jusqu'à Uranibourg en Danemark. Aussi proposèrent-ils tous de fonder le système des mesures de longueur sur cette longueur du pendule.

La première preuve de la variation de la gravité dans les différents lieux est due à Richer. L'observation de Richer ne fut pas, comme semblent le dire quelques

1. T. II, p. 27 (édit. du Chastelet de 1759).

traités de physique, le résultat du hasard, et de la nécessité où cet astronome se serait trouvé de raccourcir le balancier de son horloge pour la régler à Cayenne sur le temps moyen. L'expérience du pendule à secondes faisait partie du programme tracé à Richer par l'Académie des sciences, et elle fut faite par la méthode de l'abbé Picard.

« L'une des plus considérables observations, dit Richer[1], que j'aie faites est celle de la longueur du Pendule à secondes de temps, laquelle s'est trouvée plus courte en Caïenne qu'à Paris : car la même mesure qui avait été marquée en ce lieu-là sur une verge de fer suivant la longueur qui s'était trouvée nécessaire pour faire un pendule à secondes de temps, ayant été apportée en France, et comparée avec celle de Paris, leur différence a été trouvée d'une ligne et un quart, dont celle de Caïenne est moindre que celle de Paris, laquelle est de 3 pieds 8 lignes 3/5. Cette observation a été réitérée pendant dix mois entiers, où il ne s'est point passé de semaine qu'elle n'ait été faite plusieurs fois avec beaucoup de soin. Les vibrations du Pendule simple dont on se servait étaient fort petites, et duraient, fort sensibles, jusqu'à cinquante-deux minutes de temps, et ont été comparées à celles d'une Horloge très excellente, dont les vibrations marquaient les secondes de temps. »

Mais plusieurs astronomes ne voulurent voir dans cette différence de la mesure du pendule en France et dans les pays chauds qu'un effet de la dilatation des règles de fer employées à cette mesure. C'est l'opinion formelle de La Hire, et elle perce aussi dans les instructions rédigées par J.-D. Cassini (1681) pour l'usage des observateurs que l'Académie envoya les années suivantes en Afrique, en Amérique et en Asie pour déterminer les positions géo-

1. *Observations astronomiques et physiques faites en l'île de Caïenne, par M. Richer, de l'Acad. des Sciences.* In-4, Paris, 1679. — Chap. x. *Observations physiques.*



graphiques d'un grand nombre de points du globe et en même temps la longueur du pendule à secondes.

Voici ce que dit sur ce sujet Fontenelle, en 1733, dans l'*Histoire de l'Académie*, t. I, p. 177, année 1674 :

« Cette différence de la longueur du Pendule de Paris à celle du Pendule de Caïenne, quoiqu'elle ne soit que de 1/440, ne peut pas être négligée.... Ainsi il faut renoncer à l'idée flatteuse d'une mesure universelle, et se réduire à avoir, du moins pour chaque Païs, par le moyen de ce même pendule à secondes, une mesure perpétuelle et invariable.

« Toutefois, ce serait une témérité de rien établir encore sur toute cette matière; et c'est une espèce de précipitation de chercher des sistèmes physiques, pour expliquer comment les corps pèsent moins sous l'Équateur que sous les Pôles; et par conséquent pourquoi un Pendule dans l'Isle de Caïenne tiré de son point de repos y redescend plus lentement qu'à Paris, et doit être accourci pour descendre aussi vite. Il est quelquefois à craindre que l'on ne trouve de bonnes raisons de ce qui n'est point. »

La question fut tranchée par les résultats qu'obtinrent Varin, des Hayes et de Glos en Afrique et en Amérique (1682 à 1700), Couplet à Lisbonne et à Paraïba (1698), le P. Feuillée en Amérique (1704-1706), les Jésuites missionnaires à Siam (1686), de Chazelles en Égypte (1694). Tous ces observateurs employaient le pendule simple de Picard. Halley, de son côté, constatait qu'à Sainte-Hélène il lui fallait raccourcir le balancier de son horloge pour la régler au temps moyen.

A la même époque, Newton et Huyghens établissaient la liaison de cette variation du pendule avec la forme et le mouvement de rotation de la terre.

La Proposition XX du 3e livre des *Principes* (traduction française de la marquise du Chastelet, 1759, t. II, p. 39) est ainsi conçue : « *Trouver et comparer entre eux les poids*

des corps dans les diverses régions de la terre. — Les poids dans quelque région de la terre que ce soit, sont réciproquement comme les distances des lieux au centre de la terre; et par conséquent, en supposant que la terre soit un sphéroïde, leur proportion est donnée. — On tire de là ce théorème, que l'augmentation du poids en allant de l'équateur vers les pôles, doit être à peu près comme le sinus verse[1] du double de la latitude, ou, ce qui est la même chose, comme le quarré du sinus droit de la latitude. »

Et Huyghens, dans son *Discours de la cause de la Pesanteur*, publié en français à Leyde, chez Von der Aa, en 1690, puis traduit plus tard en latin par S'Gravesande, s'exprime ainsi :

« L'on assure avoir trouvé dans la Caïenne, qui est un païs dans l'Amérique, éloigné seulement de 4 ou 5 degrés de l'Équateur, qu'un Pendule qui bat les secondes, y est plus court qu'à Paris d'une ligne et un quart, d'où s'ensuit que, si on prend des pendules d'égale longueur, celuy de la Caïenne fait des allées un peu plus lentes que celuy de Paris. La vérité du fait estant posée, on ne peut douter que ce ne soit une marque assurée de ce que les corps pesans descendent plus lentement en ce païs là qu'en France. Et comme cette diversité ne saurait être attribuée à la ténuité de l'air, qui est plus grande dans la Zone Torride; parce qu'elle devrait causer un effet tout contraire; je ne vois pas qu'il puisse y avoir d'autre raison, sinon qu'un mesme corps pèse moins sous la Ligne que sous des Climats qui s'en éloignent. Je reconnus, aussi tost qu'on nous eut communiqué ce nouveau phénomène, que la cause en pouvait être rapportée au mouvement journalier de la Terre, qui, estant plus grand en chaque païs, selon qu'il approche plus de la ligne Équinoctiale,

1. On appelle sinus verse d'un angle α, la quantité $1 - \text{Cos.}\ \alpha$. Cette expression n'est plus usitée aujourd'hui. — J. G.



doit produire un effort proportionné à rejetter les corps du centre, et leur oster par là une certaine partie de leur pesanteur....

« Je dis que la Terre n'est pas tout à fait sphérique, mais d'une figure de sphère abaissée vers les deux Pôles, telle que ferait à peu près une Ellipse, en tournant sur son petit axe. Cela procède du mouvement journalier de la Terre, et c'est une suite nécessaire de la déclinaison susdite du plomb. Parce que la descente des corps pesans estant parallèle à la ligne de cette suspension, il faut que la surface de tout liquide se dispose en sorte que cette ligne luy soit perpendiculaire, parce qu'autrement il pourroit descendre davantage. Partout la surface de la mer est telle, qu'en tout lieu le fil suspendu luy est perpendiculaire. D'où s'ensuit que la ligne du niveau, c'est-à-dire celle qui coupe le fil du plomb suspendu à angles droits doit marquer l'horizon, ainsi qu'elle fait; n'y ayant que la hauteur du lieu où le niveau est placé, qui le fasse viser quelque peu plus haut. Or les costes des terres estant généralement élevées, et presque partout de mesme, à l'égard de la mer; il s'ensuit que tout le composé de terres et de mers est réduit à la même figure sphérique que la surface de la mer se donne nécessairement. Et il est à croire que la Terre a pris cette figure, lorsqu'elle a été assemblée par l'effet de la Pesanteur : sa matière ayant dès lors le mouvement circulaire de 24 heures. »

(P. 108 et 112 de l'édition récente de Burckhardt. Leipzig.)

La variation des horloges à pendule lorsqu'on les transportait d'un lieu dans un autre, fit naître l'idée d'appliquer ces instruments à la mesure de la gravité relative. Un balancier invariable de forme était lié par un échappement à rouage destiné à compter le nombre de ses oscillations dans un temps donné. Telle était la machine de Graham, qui fut employée par lui-même et par Campbell à Londres et à la Jamaïque (1731-32), puis par Godin

dans son voyage au Pérou, par Maupertuis en Laponie, par Grischow (1757-58) et Roumovsky (1771), par Lyons au Spitzberg (1773) et, chose singulière, encore par Sabine, de 1818 à 1820, pendant les voyages de Parry et de John Ross à la recherche du passage du Nord-Ouest.

On avait cependant reconnu que le rouage chargé d'enregistrer les oscillations du pendule et de lui restituer son mouvement exerce une influence très marquée, et en même temps très variable, sur la durée des oscillations. Aussi Bouguer et La Condamine [1] employèrent-ils un pendule invariable entièrement libre, mais dont la masse était tellement considérable que ses oscillations pouvaient se prolonger pendant une journée entière. (LA CONDAMINE, *Journal du voyage à l'Équateur*. — BOUGUER, *Lettre à Réaumur*, 1735.) Le pendule de La Condamine fut expérimenté plus tard à Rome par lui-même et par les PP. Boscovich et Maire [2] (1775), puis par Mallet (1769), et enfin fut emporté par Dagelet, en 1785, dans le voyage de La Pérouse.

Presque toutes les expéditions de la fin du siècle dernier et de la première moitié de celui-ci [3] furent faites à l'aide de pendules invariables du modèle de La Condamine, ou de Kater ou de Freycinet; et le pendule invariable est encore avantageusement employé aujourd'hui dans le même but. On avait, pour ainsi dire, séparé en deux parties la machine de Graham : le pendule libre

1. Ces deux savants avaient été envoyés avec Godin au Pérou par l'Académie des sciences pour la mesure des trois premiers degrés du méridien. En même temps Maupertuis fut envoyé au cercle polaire (1735-1743). — J. G.

2. Voyage astronomique et géographique dans les États de l'Église, entrepris par les ordres et sous les auspices du pape Benoit XIV, pour mesurer deux degrés du méridien. — J. G.

3. Notamment Malaspina (1789-1794); Arago, Biot et de Humboldt (1817-1818); Sabine (1821-1824); Kotzebue (1823-1826); Sabine (1827-1829); Ross (1840-1842); Hayes (1860); major J. Herschell (1881); Von Sterneck (1883-1885). — J. G.

oscillait sur un support aussi fixe que possible, et l'on mettait et l'on entretenait d'accord avec lui pendant plusieurs heures le balancier d'un compteur, qui enregistrait ainsi le nombre d'oscillations pendant un temps mesuré par des chronomètres ou par une horloge de temps moyen. C'est la méthode qu'employèrent de Freycinet et Duperrey, dans les voyages autour du monde entrepris par ordre du roi en 1818-1820 et en 1822-1825.

De telles observations ne nécessitent d'autres corrections que la réduction à l'amplitude infiniment petite et celles qui résultent des données météorologiques. Ce serait donc un excellent moyen de comparer l'intensité de la pesanteur en différents lieux, si l'on était assuré que le pendule est resté réellement identique à lui-même pendant toute la durée du voyage. La seule preuve que l'on en puisse avoir est l'identité du nombre des oscillations en un même lieu, avant le départ et après le retour. Les expériences de Bessel,, en mettant en évidence l'influence considérable de la forme de l'arête du couteau, ont considérablement discrédité aujourd'hui l'emploi du pendule invariable à un seul axe. Mais un pendule de forme symétrique, à axes réciproques, dont les couteaux peuvent être échangés à chaque station, porte en lui-même le moyen de démontrer la permanence de ses qualités; un tel pendule semble être, sous la forme très élégante que lui a donnée le capitaine (aujourd'hui commandant) Defforges, le meilleur instrument pour la détermination du rapport de la gravité en différents lieux.

Des observations du pendule, soit absolues, soit relatives, ont toujours accompagné les déterminations géodésiques des arcs de méridien ou de parallèle, et la plupart des expéditions de découvertes maritimes. Le nombre de ces observations est donc aujourd'hui très considérable. (Wolf, *Introduction historique* au IV[e] volume des *Mémoires publiés par la Société française de Physique*.)

CHAPITRE III

LA GRANDEUR ET LA FIGURE DE LA TERRE

Notice sur la détermination de la grandeur et de la figure de la Terre, lue à la séance publique de l'Académie des sciences pour l'année 1818, par M. Biot[1].

Lorsque, sur une des tours de Florence, Galilée, il y a deux siècles, expliquait à un petit nombre de personnes, dans des entretiens presque mystérieux, ses découvertes nouvelles sur les lois de la pesanteur, le mouvement de la Terre et la figure des planètes, aurait-il jamais pu prévoir que ces vérités, alors méconnues et persécutées, seraient, après un si court intervalle, considérées comme tellement importantes, et si généralement admirées, que

1. *Biot* (Jean-Baptiste), né à Paris en 1774, mort en 1862. Elève du collège Louis-le-Grand, puis de l'Ecole polytechnique, professeur au Collège de France en 1800, il fut envoyé en Espagne en 1806 avec Arago pour continuer la mesure d'un arc du méridien, commencée par Delambre et Méchain. Membre de l'Académie des sciences en 1808 et de l'Académie française en 1856, astronome, physicien, chimiste, Biot était en même temps un écrivain distingué. Dernier survivant de la glorieuse pléiade de savants qui a illustré la fin du XVIIIe siècle et le commencement du XIXe, il a exercé pendant de longues années une sorte de haute magistrature scientifique, entouré d'une estime et d'un respect universels. Nous ferons de nombreux emprunts à ses *Mélanges scientifiques et littéraires,* recueil de morceaux publiés à diverses époques, notamment dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* et dans le *Journal des Savants.* — J. G.

les gouvernements de l'Europe feraient entreprendre de grandes opérations et de lointains voyages pour le seul but de les étendre, d'en constater toutes les particularités; et que, par l'effet d'une propagation inespérée de toutes les connaissances, les résultats de ces travaux pourraient être offerts à l'intérêt public dans des assemblées nombreuses, composées des classes les plus éminentes de la société! Tel est pourtant l'immense changement qui s'est opéré dans le sort des sciences depuis cette époque. Quand Galilée et Bacon parurent, après tant d'esprits sublimes que l'antiquité avait produits, ils trouvèrent la carrière des sciences encore vierge, car on ne saurait donner le nom de science à l'inutile amas de spéculations hypothétiques qui composait avant eux la philosophie naturelle. On avait voulu jusqu'alors deviner plutôt qu'étudier la nature : l'art de l'interroger et de lui faire révéler ses mystères n'était pas connu; ils le découvrirent. Ils montrèrent que l'esprit humain est trop faible et trop incertain pour s'avancer seul dans ce dédale de vérités; qu'il a besoin de s'arrêter sur des phénomènes rapprochés les uns des autres, comme l'enfant se repose sur les appuis qu'il rencontre, lorsqu'il essaie ses premiers pas; et que, dans les circonstances multipliées où la nature lui offre à franchir de trop grands intervalles, il faut que, par des expériences industrieusement imaginées, il fasse naître sur sa route de nouveaux phénomènes qui assurent sa marche, et l'empêchent de s'égarer. Telle a été la fécondité de cette méthode, qu'en moins de deux siècles, des découvertes sans nombre, des découvertes certaines, durables, ont éclaté dans toutes les parties des sciences, se sont communiquées rapidement aux arts, à l'industrie qu'elles ont enrichie d'applications merveilleuses, et ont accru le trésor des connaissances humaines mille fois au delà de ce qu'avait fait toute l'antiquité. Mais, ainsi étendues, les sciences excèdent les facultés d'un seul homme. Leur sphère immense ne peut

plus être embrassée que par un grand corps littéraire qui, dans son ensemble, comme dans un vaste sensorium, réunisse toutes les conceptions, toutes les vues, toutes les pensées; qui ne connaissant ni les infirmités humaines, ni la décadence des sens et de la vieillesse, toujours jeune, toujours actif, scrute incessamment les propriétés intimes des choses naturelles, découvre les forces qui y sont cachées, et les offre enfin à la société tout élaborées et préparées pour les applications. Dans ce centre, où toutes les opinions s'agitent et se combattent, nulle autorité ne peut prévaloir, si ce n'est celle de la raison et de la nature. La voix d'un Platon même ne saurait plus y faire écouter les rêves brillants de son imagination; et le génie d'un Descartes, contraint de rester fidèle à la méthode d'observation et de doute qu'il avait lui-même créée, n'y produirait que des vérités sans mélange d'erreurs. Mais Platon et Descartes, avec toute leur gloire, ne seraient encore que des éléments passagers de ce grand organe des sciences. Sa force survivrait à leur génie, et poursuivrait dans l'avenir le développement de leurs pensées. Telle est aujourd'hui la noble destination des sociétés savantes. La simultanéité et la durée que leur institution donne à des efforts mortels, complètent la puissance de la méthode expérimentale. Elles seules pouvaient désormais assurer la continuité du progrès des connaissances humaines; seules elles pouvaient développer les grandes théories, et faire obtenir des résultats qui, par leur difficulté, par la diversité, la persévérance et l'étendue des travaux qu'ils exigent, n'auraient jamais été accessibles pour des individus.

La détermination de la grandeur et de la figure de la terre, la mesure de la pesanteur à sa surface, la liaison de ce phénomène avec la constitution intérieure du globe, avec la disposition de ses couches et les lois de leurs densités, sont au nombre de ces questions de longue durée, que des sociétés savantes seules pouvaient se proposer

d'attaquer et de résoudre. Elles ont été depuis un siècle et demi un des objets constants des travaux de l'Académie des sciences. La première mesure exacte d'un degré du méridien terrestre fut faite en France par Picard, dans l'année 1670. Elle servit à Newton pour établir la loi de la pesanteur universelle, dont l'emploi d'une mesure fautive de la terre l'avait d'abord écarté. Deux ans après, Richer, autre Français, envoyé par l'Académie à Cayenne pour des recherches astronomiques, découvrit que son horloge, qui battait à Paris les secondes, allait plus lentement à mesure qu'il s'approchait de l'équateur, et s'accélérait de nouveau par les mêmes degrés, en revenant vers le nord, de manière à reprendre exactement sa marche primitive au point de départ. Or, d'après les découvertes de Huyghens, la vitesse des oscillations d'un même pendule augmente ou diminue avec l'intensité de la pesanteur qui le fait mouvoir. L'observation de Richer prouvait donc que cette intensité était différente à diverses latitudes, et qu'elle croissait en allant de l'équateur au pôle. Newton, dans son immortel ouvrage des *Principes de la Philosophie naturelle*, lia tous ces résultats à la loi de l'attraction. Il montra que la variation observée dans la pesanteur décelait un aplatissement de la terre à ses pôles, circonstance qui se remarque aussi dans la forme de Jupiter, de Saturne, et des autres planètes qui tournent sur un axe. Il conçut que cette forme aplatie était une conséquence de l'attraction même des parties de chaque planète, combinée avec la force centrifuge produite par son mouvement de rotation. Mais, pour que l'arrangement déterminé par ces deux genres de forces eût pu ainsi s'effectuer, il fallait que ces grands corps eussent été primitivement fluides; il les prit donc dans cet état, et il montra comment on pouvait calculer l'aplatissement d'une planète d'après l'intensité de la pesanteur à sa surface, et la vitesse de sa rotation, en supposant sa masse homogène. Cette théorie, appliquée à la terre,

donnait une variation de la pesanteur peu différente de celle que Richer avait observée, mais cependant un peu plus faible; ce qui indique que la terre est composée de couches dont la densité va croissant de la surface au centre, comme Clairaut l'a depuis démontré.

Les calculs de Newton furent pendant quelque temps les seules inductions que l'on eût pour croire la terre aplatie à ses pôles. L'arc du méridien mesuré par Picard avait bien suffi pour donner la longueur du rayon de la terre à l'endroit où il avait été observé; mais cet arc était beaucoup trop petit pour que l'on y pût seulement entrevoir l'effet de l'aplatissement. On espéra tirer plus de lumières de la mesure de l'arc entier qui traverse la France depuis Perpignan jusqu'à Dunkerque; mesure qui devait servir, pour ainsi dire, d'axe à la carte générale de la France, dont Colbert avait confié l'exécution à l'Académie. Mais, dans l'état encore imparfait où se trouvaient alors les instruments et les méthodes astronomiques, cet arc lui-même était trop court pour que l'influence de l'aplatissement pût s'y faire sentir avec certitude; et les petites variations qui en résultent dans les longueurs des degrés consécutifs, pouvaient très aisément se perdre dans les erreurs des observations. Ce fut aussi ce qui arriva. Les différences que les degrés présentèrent, se trouvèrent, par l'effet de ces erreurs, dans un sens tel qu'il en serait résulté un allongement aux pôles, au lieu d'un aplatissement. L'Académie ne se rebuta point : elle sentit que la question ne pouvait être nettement décidée qu'en mesurant deux arcs du méridien dans les régions de la terre où l'aplatissement doit produire entre les degrés des différences plus sensibles, c'est-à-dire près de l'équateur et près du pôle. Elle trouva, parmi ses membres, des hommes assez dévoués pour entreprendre ces pénibles voyages. Dans l'année 1735, Bouguer, Godin, La Condamine passèrent en Amérique, où ils se réunirent à des commissaires espagnols. Quelques mois après, Clairaut, Mauper-

tuis, Le Monnier, partirent pour le Nord. Les résultats de ces expéditions mirent hors de doute l'aplatissement de la terre; mais sa mesure absolue resta encore douteuse. Le degré du Pérou, comparé à ceux de la France, donnait un aplatissement plus faible que si la terre était homogène. L'opération de Laponie le donnait plus fort. Dans cette incertitude, les longueurs du pendule que l'on avait eu soin de mesurer, s'accordaient avec l'aplatissement conclu de l'opération de l'équateur ; mais l'exactitude de ces mesures, surtout dans l'opération de Laponie, n'était pas telle qu'elles pussent trancher la difficulté. La faute n'en était à personne; on ne pouvait pas faire mieux alors.

Les choses en restèrent à ce point pendant cinquante ans. Bouguer, La Condamine, Clairaut, Maupertuis moururent. Mais, après cet intervalle, les instruments d'astronomie étant devenus beaucoup plus parfaits, et les méthodes d'observation plus générales et plus précises, on put espérer de lever les incertitudes que les observations précédentes avaient laissées sur l'aplatissement de la terre. L'Académie, héritière de ces grands travaux, résolut de les reprendre avec tous les moyens qui pouvaient en assurer le succès. Elle leur donna plus d'importance encore en proposant de prendre la grandeur même de la terre ainsi déterminée, pour l'élément fondamental d'un système de mesures, général, uniforme, dont toutes les parties seraient liées entre elles par des rapports simples et en harmonie avec notre mode de numération. Aujourd'hui, comme alors, elle espère qu'un pareil système, fondé sur des éléments naturels, invariables, indépendants des préjugés individuels des peuples, leur deviendra dans l'avenir commun à tous, comme le sont déjà les chiffres arabes, la division du temps et le calendrier. C'était un vœu manifesté depuis longtemps par les meilleurs et les plus éclairés de nos rois. La proposition de le réaliser fut, pour ainsi dire, le dernier soupir de l'Académie; et

l'acte qui en décida l'exécution fut un des derniers qui précédèrent la funeste époque de nos grandes convulsions politiques. Toutes les institutions conservatrices de la civilisation et des lumières périrent; l'Académie périt avec elles. Mais de vrais savants ne se font pas répéter l'autorisation de faire ce qu'ils croient utile. Au milieu du désordre et des fureurs excitées par l'anarchie populaire, MM. Delambre et Méchain, munis d'instruments nouveaux que Borda leur avait créés, commencèrent et continuèrent, souvent au péril de leur vie, la mesure de la terre la plus étendue, la plus exacte que l'on eût jamais entreprise. Ils l'achevèrent aussi bien, quoique non pas aussi aisément qu'ils l'auraient fait au sein de la paix la plus profonde. La mesure du pendule ne fut point oubliée. Borda, qui avait tant fait pour perfectionner toutes les autres parties des observations, inventa pour cette expérience une méthode dont l'exactitude surpassait tout ce qu'on avait imaginé jusqu'alors, et n'a pas été surpassée depuis [1].

Lorsque ces opérations furent terminées, on songea que l'arc du méridien pouvait être continué de plusieurs degrés au sud à travers la Catalogne, et qu'il pouvait même probablement se prolonger jusqu'aux îles Baléares, au moyen d'un immense triangle dont les côtés, s'étendant sur la mer, joindraient ces îles à la côte de Valence. Méchain se dévoua pour cette opération. Je dis qu'il se dévoua, car il alla mourir de la fièvre dans une petite ville du royaume de Valence, après avoir reconnu toute la chaîne et mesuré les premiers triangles. Nous fûmes chargés, M. Arago et moi, d'achever ce travail, conjointement avec des commissaires du roi d'Espagne Charles VI. Nous eûmes le bonheur de réussir; mais on se rappelle que M. Arago ne revint en France qu'à travers de grands périls et après une dangereuse captivité. Nos résultats,

1. On a vu plus haut, p. 18, l'histoire précise de ce point particulier. — J. G.

en confirmant ceux de l'arc de France, leur donnèrent une certitude nouvelle. Nous mesurâmes aussi, dans notre station extrême, la longueur du pendule à secondes par le procédé de Borda. Nous répétâmes la même opération, M. Mathieu et moi, sur divers points de l'arc compris entre Perpignan et Dunkerque. Ces expériences donnèrent, pour l'aplatissement de la terre, une valeur presque exactement égale à celle que M. Delambre avait déjà obtenue en comparant l'arc de France et d'Espagne au degré de l'équateur calculé avec de nouveaux soins, au degré de Laponie qu'un habile astronome suédois, M. Swanberg, avait corrigé par de nouvelles observations; enfin à un arc de plusieurs degrés que le major Lambton avait mesuré avec une grande exactitude dans les possessions anglaises de l'Inde. (Biot, *Mélanges scientifiques et littéraires*, t. I, p. 69.)

Notice sur les opérations faites en Espagne pour prolonger la méridienne de France jusqu'aux îles Baléares. Lue à la séance publique de la classe des sciences physiques et mathématiques pour l'année 1810, par M. Biot.

On est aujourd'hui assuré de ne pas se tromper de 200 mètres (100 toises) sur la grandeur absolue du rayon moyen de la terre, qui surpasse 6 000 000 de mètres. Cela peut paraître inconcevable aux personnes qui ne connaissent pas les procédés dont les astronomes font maintenant usage, mais rien ne semble plus simple lorsqu'on les a examinés. Sans entrer ici dans des détails techniques, il est cependant facile de sentir au moins la possibilité d'une pareille exactitude. Il suffit, pour cela, de remarquer que la surface de la terre n'est réellement pas aussi irrégulière qu'elle le paraît au premier coup d'œil. Les montagnes dont elle est hérissée, les vallées qui la sillonnent, ne sont, comparativement à sa masse, que des rides presque imperceptibles. Les petites aspérités qui se rencontrent sur la peau d'une orange sont relati-

vement beaucoup plus considérables. Si l'on fait d'ailleurs attention que les continents terrestres sont entourés de tous côtés par la mer qui s'y insinue par un grand nombre d'ouvertures; que leurs bords ne sont nulle part fort élevés au-dessus du niveau des eaux qui les baignent; que tous les fleuves, dont ces continents sont entrecoupés, se rendent aussi à la mer par des pentes assez faibles, puisqu'ils sont généralement navigables, on verra, dans cet équilibre, l'effet d'un nivellement général de la surface terrestre, on concevra que sa courbure doit suivre la courbure régulière de l'Océan, et par conséquent l'on sentira que la mesure d'une pareille convexité peut avoir toute la rigueur d'une opération mathématique.

Il ne reste donc plus qu'à faire connaître les procédés que l'on emploie pour effectuer cette mesure. Vous avez vu quelquefois sur les bords de la mer un navire s'éloigner du rivage : d'abord on l'aperçoit tout entier; mais peu à peu, à mesure qu'il s'éloigne, il semble s'enfoncer dans l'horizon; vous perdez d'abord de vue le corps du bâtiment, puis ses basses voiles, puis le haut de ses mâts, et enfin il disparaît entièrement. C'est l'effet de la convexité de la terre qui s'interpose entre le vaisseau et vous. En même temps les gens du bord voient un spectacle semblable : pour eux, c'est le rivage qui, dans le lointain, s'abaisse, disparaît; puis ce sont les maisons, puis les tours, puis les montagnes, jusqu'à ce qu'enfin ils se voient entourés de tous côtés par l'horizon de la mer. Cet abaissement progressif qu'ils observent en s'éloignant du rivage, nous l'observons également dans les signaux célestes, lorsque nous voyageons sur la terre du nord au sud ou du sud au nord; le pôle avec les étoiles qui l'environnent s'abaisse sur l'horizon, à mesure que nous allons vers le sud; il s'élève, au contraire, si nous revenons. Toutes les étoiles participent à ces changements d'élévation dont notre déplacement seul est cause. En mesurant avec soin leur hauteur au-dessus de l'horizon

de chaque lieu, nous pouvons connaître l'arc céleste qui correspond à l'arc terrestre que nous avons parcouru ; en mesurant aussi la longueur itinéraire de cet arc, nous pouvons comparer ces deux valeurs, et conclure de leur comparaison la grandeur du contour entier de la terre.

La hauteur des astres sur l'horizon se mesure avec des instruments d'une précision extrême, au moyen desquels on peut évaluer les plus petites fractions. On répète ces observations jusqu'à plusieurs milliers de fois dans chacun des points extrêmes de l'arc que l'on mesure, et l'on prend le milieu entre tous les résultats, afin que les petites erreurs des opérations partielles se détruisent par leur compensation. Quant à la longueur itinéraire de l'arc, on la mesure comme on arpente un champ, comme on lève un plan ; c'est-à-dire en toisant d'abord une première longueur qui sert de base à tout le travail, puis établissant sur cette base une suite de triangles qui s'enchaînent les uns aux autres, jusqu'à ce qu'on soit parvenu à l'autre station. La mesure d'un arc du méridien ne diffère des opérations dont je viens de parler, que par une extrême recherche de précision et d'exactitude....

En arrivant en Espagne, notre premier soin fut de visiter toute la chaîne des montagnes sur laquelle nous devions nous établir. Une difficulté, surtout, nous occupait et méritait toute notre attention. Pour lier l'île d'Yvice à la côte d'Espagne, il fallait former un triangle dont le sommet fût dans l'île, et la base sur le continent. Or, d'après la distance d'Yvice à la côte d'Espagne, il était clair que ce triangle n'aurait pas moins de 142 000 mètres, environ trente-cinq lieues de base, et qu'un de ses côtés aurait plus de 160 000 mètres, environ quarante et une lieues de longueur [1]. A de si grandes distances, des signaux de jour auraient été complètement invisibles. On devait y suppléer par des lampes à courant d'air, der-

1. Il s'agit ici de lieues de 2 000 toises.

rière lesquelles on plaçait de grands miroirs de métal poli, pour réfléchir la lumière; et toutes les observations devaient se faire de nuit. Mais malgré tant de précautions, la chose était-elle possible, et la clarté de quelques lampes pourrait-elle percer à travers une si grande profondeur d'air? Voilà ce qui n'était nullement certain, et ce dont nous n'avions malheureusement que trop de raisons de douter.

Quelque effrayants que fussent ces obstacles, nous ne perdîmes point courage : nous résolûmes d'établir nos stations sur les montagnes les plus hautes, d'où les feux pouvaient le plus aisément être aperçus; d'y rester obstinément plusieurs mois, s'il le fallait, et d'attendre tout du hasard, d'une nuit favorable, d'un temps calme, d'un ciel parfaitement serein.

Pour exécuter ce plan avec sûreté et promptitude, nous nous partageâmes les préparatifs. M. Arago alla établir notre cabane et nos cercles sur la montagne du *Desierto de las Palmas*, que Méchain avait choisi pour l'un des sommets du grand triangle. On appelle ainsi cette montagne, parce qu'il y croît en abondance une petite espèce de palmier à feuilles en éventail, que les botanistes nomment le *Chamærops humilis*. Pour moi, je passai dans l'île d'Yvice avec M. Rodriguez[1]. Nous parcourûmes toutes les montagnes qu'elle présente au nord, et d'où la côte d'Espagne peut être aperçue par un temps serein. Méchain en avait choisi une dont la position se prêtait au double projet qu'il avait formé de faire arriver la chaîne des triangles dans Yvice, par Mayorque, ou par la côte de Valence; mais, maintenant que l'on s'était décidément arrêté à ce dernier projet, on pouvait trouver sur la côte d'Yvice d'autres montagnes plus favorablement situées pour cette destination particulière. Nous en distinguâmes

1. C'était l'un des commissaires adjoints aux astronomes français par le gouvernement espagnol. — J. G.

une appelée Campvey, qui réunissait les avantages d'être plus au nord que toutes les autres, d'être aussi plus élevée, plus isolée, et dont le sommet chauve, tout formé d'un calcaire blanchâtre, devait être surtout facile à reconnaître de loin. Du haut de cette montagne, on voyait aussi la petite île de Formentera, dans le sud, à vingt-cinq minutes de distance. En liant cette île à nos triangles, on prolongeait l'arc de toute cette quantité. Nous y allâmes, M. Rodriguez et moi, afin de reconnaître par nous-mêmes la possibilité de cette jonction, et aussi pour déterminer le point de la côte d'Espagne sur lequel on pourrait établir le sommet de ce dernier triangle. Ce plan arrêté, nous fixâmes notre dernière station dans la partie la plus montueuse de l'île, et nous louâmes, pour cet objet, la maison d'un pauvre paysan, bien étonné de voir des étrangers venir de si loin chercher une pareille habitation. De retour dans Yvice, on porta les réverbères sur le sommet de Campvey; on y dressa une tente et une petite cabane en planches, que Méchain avait fait construire à Barcelone, et qui pouvait se monter et se démonter à volonté. Nous avions trois de ces cabanes pour les trois sommets du grand triangle, où nous devions séjourner longtemps; faible abri contre les coups de vent et les tempêtes auxquelles nous avons été si souvent exposés sur nos montagnes. Le temps, couvert et nuageux, ne laissant pas voir la côte de Valence, nous dirigeâmes de notre mieux les miroirs des lampes avec une boussole, d'après la position que les cartes donnaient au *Desierto de las Palmas*, où M. Arago était déjà placé. M. Rodriguez resta dans l'île avec quatre matelots, pour veiller à l'entretien des réverbères, et à ce qu'ils fussent exactement allumés toutes les nuits. Ce n'est qu'après avoir vu ces lieux sauvages, que l'on peut apprécier tout ce qu'il faut de zèle et de dévouement pour se résoudre à passer ainsi un hiver entier dans une pareille solitude, n'ayant pour compagnons que des matelots, pour nourriture que les

aliments les plus grossiers, pour promenades que des débris de rocs, pour perspective que la vue uniforme de la mer. Et, ce qui achevait de rendre cette situation pénible, M. Rodriguez n'avait pas même la satisfaction de savoir si nous apercevions ses signaux; il devait ignorer pendant plusieurs mois s'il nous était utile, ou si ses soins, ses veilles et sa persévérance étaient perdus.....

Après avoir établi à Campvey M. Rodriguez, je repassai en Espagne.....

Deux sommets de notre grand triangle étaient déterminés; il fallait fixer le troisième. Celui que Méchain avait indiqué, était la colline du cap Cullera, qui n'a que 200 mètres (100 toises) d'élévation et du haut de laquelle il n'était pas même sûr alors que l'on découvrît l'île d'Yvice, quoique nous en ayons reconnu depuis la possibilité. A une journée de là, dans l'ouest, il y avait une autre montagne, appelée le Mongo, trois fois plus haute, singulièrement remarquable par son sommet arrondi, par ses arêtes taillées à pic, et surtout par la manière dont elle s'avance dans la mer, à l'extrémité du cap Saint-Antoine. D'Yviza, on apercevait le Mongo par un temps serein, même étant dans une chaloupe au niveau de la mer : à plus forte raison devait-on le découvrir du haut des montagnes. Déterminé par ces circonstances favorables, je n'hésitai point à y établir une station. Il n'y avait pas de chemin pour arriver au sommet : on en tailla un dans le roc; mais ensuite, lorsque l'on connut mieux la montagne, on en trouva un autre un peu plus commode dans le fond d'un ravin creusé par les pluies et par les éboulements des neiges. Ce fut à travers ce ravin, à peine praticable pour des hommes, que l'on monta, non sans peine, les caisses des réverbères, les miroirs, une tente et les planches de la cabane; mais ces faibles abris étant incapables de résister aux terribles coups de vent auxquels cette montagne est exposée, à cause de sa hauteur et de son isolement dans la mer, on fut obligé de construire

une petite maison en pierres sèches dans une anfractuosité du rocher. Là, des matelots s'établirent et passèrent la moitié de l'hiver au milieu des ouragans et des neiges, allumant nos signaux toutes les nuits, jusqu'à l'époque où nous vînmes nous-mêmes les remplacer avec nos cercles, et porter en ce point le centre de nos observations. D'autres matelots étaient chargés de leur apporter des vivres, et jusqu'à de l'eau, qui manquait sur ce sommet isolé; car c'est ainsi, avec de pauvres matelots et des paysans espagnols volontairement engagés à notre service, et dévoués à notre entreprise, que nous avons exécuté toute l'opération. Ce moyen était le seul praticable, à moins de se jeter dans des dépenses excessives; et, pour ces pauvres gens eux-mêmes, c'était l'attachement que nous avions réussi à leur inspirer, et l'espèce de gloire qu'ils mettaient à vaincre tous les obstacles, bien plus que l'attrait d'un modique salaire qui pouvait les engager à quitter leur paisible chaumière pour la misérable vie que nous menions avec eux....

Dès que je fus de retour en Espagne, je courus retrouver M. Arago sur le sommet du *Desierto de las Palmas*. J'espérais qu'il aurait déjà vu et observé plusieurs fois nos signaux; mais cette espérance était vaine, et nous devions attendre longtemps encore avant de les apercevoir.

Cette épreuve était d'autant plus fâcheuse, que les nuits avaient été très claires, et que l'on avait vu plusieurs fois, au coucher du soleil, les montagnes d'Yvice s'élever dans le lointain, au-dessus de l'horizon de la mer, distinctes et bien déterminées. Si l'on n'avait pas vu les feux, il y avait bien sujet de croire qu'ils n'étaient pas visibles, et qu'on ne les découvrirait jamais davantage. Pour surcroît de malheur, un de nos cercles que nous avions apporté de Paris, s'était trouvé brisé quand on avait voulu le déballer sur la montagne. Il ne nous en restait plus qu'un seul, construit par M. Lenoir : c'était le plus grand, à la vérité, et le meilleur pour observer à de grandes distances; mais,

en supposant que nous pussions observer les feux d'Yvice, si ce dernier cercle venait aussi à se briser en le transportant sur d'autres montagnes, tout était fini, et l'opération était perdue. Ainsi les circonstances les plus défavorables se réunissaient contre nous.

Nous demeurâmes dans cette incertitude depuis le milieu du mois d'octobre, jusqu'au milieu de décembre, restant obstinément sur notre montagne, veillant toutes les nuits; n'ayant le jour d'autre société que quelques aigles qui venaient planer autour de notre habitation, ou de pauvres chartreux d'un couvent situé à 200 toises au-dessous de notre ermitage, qui s'échappaient quelquefois dans leurs promenades pour venir causer un instant avec nous. Déjà nous avions vu passer l'époque à laquelle nous aurions dû nous rendre dans Yviza pour faire les observations de latitude. Il était déjà décidé que cette opération, que l'on avait espéré terminer dans un hiver, durerait au moins deux années, si pourtant elle était possible.

Combien de fois, assis au pied de notre cabane, les yeux fixés sur la mer, n'avons-nous pas réfléchi sur notre situation, et rassemblé les chances qui pouvaient nous être favorables ou contraires! Combien de fois en voyant les nuages s'élever du fond des vallées, et monter en rampant sur le flanc des rochers jusqu'à la cime où nous étions, n'avons-nous pas recherché dans leurs oscillations les présages heureux ou malheureux d'un ciel couvert ou serein? On a dit, avec vérité, que l'aspect des lieux prend une couleur agréable ou sombre, selon les sentiments dont l'âme est agitée. Nous l'éprouvions bien fortement alors. De la porte de notre cabane nous avions une des plus belles vues du monde : à notre gauche, mais fort au-dessous de nous, le cap Oropeza élevait dans les airs ses aiguilles qui servent de signaux aux navigateurs; derrière nous, en se prolongeant dans l'ouest, s'étendaient les chaînes de montagnes noirâtres, qui, comme un rideau,

abritent le royaume de Valence du côté du nord, et conservent à cet heureux climat la douce température dont il jouit. Sur notre droite, à l'autre extrémité du golfe, le Mongo sortait du sein de la mer, semblable à une île éloignée; tandis qu'à nos pieds, dans une enceinte de plus de trente lieues, on voyait, le long de la mer, ces belles et fertiles plaines de Valence, vaste jardin entrecoupé de mille ruisseaux, et tout couvert d'oliviers, d'orangers, de citronniers, dont la verdure éternelle formait le plus doux contraste avec les sommets blancs des montagnes neigées. Plusieurs villes et de nombreux villages embellissaient encore et variaient cette perspective par leurs formes diverses ou par les souvenirs qu'ils rappelaient. A quelques lieues de notre désert, nous voyions *Castillon de la Plana*, où Méchain est mort, et où est son tombeau. Plus loin, l'ancienne Sagonte, aujourd'hui Murviedro, dont les habitants se brûlèrent autrefois, avec leurs familles, pour ne pas tomber en esclavage, et dont la colline, théâtre et témoin muet des révolutions des âges, porte à sa base des restes de monuments romains, sur sa pente des ruines de fortifications arabes, et sur sa cime des ermitages chrétiens. Plus loin encore, on découvrait les tours de la brillante ville de Valence, heureux séjour du peuple le plus insouciant et le plus frivole. Mais ces beautés, que notre imagination nous retrace aujourd'hui avec tant de charmes, n'avaient alors pour nous aucun attrait. Tout remplis de la seule idée qui nous occupait, nous ne songions, nous ne pouvions songer qu'à nos travaux, et aux invincibles obstacles qui, nous arrêtant au commencement de notre entreprise, nous ôtaient les moyens et jusqu'à l'espoir de la terminer. Tantôt nous pensions que les miroirs avaient été mal dirigés, ou que quelque coup de vent avait emporté la cabane et l'avait jetée dans la mer; car nous avions déjà perdu plusieurs tentes par de semblables accidents, et nous n'avions pu en préserver notre pauvre cabane qu'en passant par-dessus des câbles, et la liant au

rocher. Quelquefois l'approche d'une belle nuit nous remplissait d'espoir; mais cet espoir était toujours trompé.

Enfin, après deux mois de séjour et de tentatives, nous imaginâmes un moyen simple et décisif pour lever toutes nos incertitudes, et pour découvrir sûrement nos signaux, si toutefois il était possible qu'on les aperçût. Nous plaçâmes le plan de notre cercle dans une situation horizontale; puis, au coucher du soleil, un soir que le ciel était parfaitement serein, et que le beau temps et l'absence de la lune promettaient une nuit profondément obscure, nous promenâmes lentement l'une de nos lunettes le long de l'horizon de la mer, jusqu'à ce qu'elle rencontrât les montagnes d'Yvice qui s'élevaient au-dessus de cet horizon à d'inégales hauteurs. Après les avoir longtemps examinées, nous choisîmes la plus haute, la plus au nord, celle dont le sommet nous paraissait le plus découvert, celle, en un mot, dont l'aspect et la forme ressemblaient davantage à ce que j'avais remarqué dans la montagne de Campvey. Certains que c'était là le lieu précis où étaient placés nos feux, nous fixâmes la lunette dans cette position et nous attendions avec une vive impatience que la nuit, devenue tout à fait sombre, nous permît de les distinguer. Cette fois notre espérance fut satisfaite : nous aperçûmes dans le champ de la lunette un point lumineux, très petit, presque imperceptible, semblable à une étoile de cinquième ou sixième grandeur, mais qui se distinguait d'une étoile par son immobilité. C'était donc à cela que se réduisait la vive et brillante lumière de nos lampes : pouvions-nous être surpris de ne l'avoir pas distinguée dans nos lunettes, en les promenant au hasard sur le ciel pendant la nuit? et au contraire n'eût-il pas été surprenant que nous eussions pu la remarquer? Ce n'était donc pas une impossibilité physique qui avait arrêté nos observations; c'était une difficulté désormais connue et facile à surmonter, en traçant sur notre cercle des indices qui

pussent nous faire retrouver justement cette direction au milieu de l'obscurité la plus profonde. C'est ce que nous fîmes en dirigeant la seconde lunette de notre cercle sur un autre signal de feu placé seulement à dix lieues de distance, et qui était visible presque toutes les nuits à cause de sa proximité. En lisant sur le cercle l'angle compris entre les deux lunettes, cet angle, une fois connu, permettait de diriger exactement l'une d'elles sur le signal d'Yvice dès que l'autre était sur le signal voisin. Je ne saurais exprimer l'émotion que nous éprouvâmes, lorsqu'après tant de peines et tant de doutes, nous eûmes enfin la certitude de réussir. En vain voulûmes-nous commencer une série d'observations, cela nous fut impossible : nous faisions mille fautes, nous nous trompions sans cesse ; et bientôt de légères vapeurs, s'élevant de la mer, voilèrent la faible clarté de nos feux. Mais cela ne nous inquiétait guère : la réussite était désormais certaine et n'exigeait plus que de la constance.

Ce fut alors que je montrai à M. Arago une lettre de Méchain que l'on m'avait confiée, et dans laquelle il exprimait les doutes qu'il avait conçus contre la possibilité de l'opération, « dont le succès (ce sont ses propres termes) lui paraissait plus qu'incertain ; et, ajoutait-il, même en supposant ce succès possible l'éloignement du terme où il pourrait être effectué est si grand, qu'il m'accable et me tue, et que je n'en puis supporter l'idée. Cette malheureuse commission, dont le succès est si éloigné, beaucoup plus qu'incertain, sera plus que probablement ma perte. » Ces doutes d'un si bon observateur, je les connaissais en entrant en Espagne ; mais ils étaient trop propres à nous décourager tous, pour que je voulusse en faire part à mes compagnons avant l'événement. Si l'on pouvait penser que nous avons exagéré en quelque chose les difficultés de l'entreprise, ces craintes d'un observateur si exercé et si patient suffiraient pour nous justifier.

Depuis cette heureuse époque, notre opération ne nous

parut plus qu'un travail ordinaire, et les observations continuèrent sans interruption. Nous eûmes pourtant encore quelques obstacles à vaincre. Souvent la tempête emportait nos tentes, déplaçait nos stations. M. Arago, avec une constance infatigable, allait aussitôt les rétablir et replaçait les signaux, ne se donnant, pour cela, de repos ni jour ni nuit. Étant tombé malade de la fièvre, je fus obligé pendant douze jours de quitter la montagne pour aller me rétablir à Tarragone. Durant cet intervalle, M. Arago resta seul chargé des observations, les continua sans relâche; et bientôt un des commissaires espagnols, M. Chaix, vint nous joindre au désert et partager notre habitation. Nous quittâmes cette première station à la fin de janvier, après y être restés trois mois et demi, et nous revîmes avec quelque plaisir la ville de Valence. Nous nous transportâmes de même aux autres sommets du grand triangle, observant à chacun d'eux tous les angles dont il était le centre. (Biot, *Mélanges scientifiques et littéraires*, t. I, p. 47.)

***Troisième voyage entrepris en Italie et en Espagne pour la détermination de la figure de la Terre, dans les années 1824 et 1825*, par M. Biot.**

Les opérations dont j'ai rendu compte dans les notices précédentes, avaient pour objet de mesurer les longueurs des degrés terrestres, et les variations d'intensité de la pesanteur sur l'arc du méridien qui s'étend depuis l'île d'Unst la plus boréale des Shetland, jusqu'à Formentera la plus australe des Pythiuses, ce qui comprenait une amplitude de plus de 22 degrés. Mais pour connaître la configuration réelle du sphéroïde terrestre, il faut mesurer sa courbure non seulement dans la direction de ses méridiens, mais aussi dans le sens des arcs parallèles à l'équateur qui croisent ces premiers à angles droits. Ce second genre d'opérations fournit même des caractères plus

manifestement décisifs que les premières. Car, si la constitution de la masse terrestre est, par exemple, celle d'un ellipsoïde de révolution extérieurement et intérieurement régulier, comme on l'a supposé d'abord, après qu'on eut constaté que sa forme externe est presque sphérique, ces parallèles devront être des cercles parfaits, sur chacun desquels les longueurs des degrés seront toutes égales entre elles et l'intensité de la pesanteur constante ; deux conditions qui, à elles seules, suffiront pour constater la vérité ou la fausseté de l'hypothèse elliptique, selon qu'elles se trouveront, ou ne se trouveront pas, matériellement réalisées. C'est pourquoi, dès que je fus revenu d'Espagne en 1808, et que l'on eut mesuré de nouveau, à Paris, la longueur du pendule à secondes, avec les mêmes appareils que j'avais rapportés de Formentera, pour constater qu'ils n'avaient pas subi de détérioration, M. Laplace détermina le Bureau des Longitudes à nous envoyer, M. Mathieu et moi, répéter les mêmes expériences en divers points de la France, particulièrement sur le 45e parallèle, où les opérations de Delambre avaient fait déjà reconnaître des irrégularités considérables dans les longueurs des degrés du méridien. Or, étant allés, dans cette intention, nous établir successivement à Bordeaux, Figeac et Clermont-Ferrant, au milieu des volcans éteints de l'Auvergne, trois stations situées sur ce parallèle, qui nous avaient été spécialement désignées, nous trouvâmes que les longueurs du pendule à secondes étaient loin d'y être constantes, et qu'ainsi les perturbations, observées dans les longueurs des degrés du méridien à cette latitude, coexistaient avec des inégalités considérables dans l'intensité de la pesanteur sur le parallèle correspondant, ce qui rendait extrêmement désirable que l'on mesurât aussi les longueurs des degrés terrestres dans ce sens transversal. Mais cette opération exigeait un ensemble de travaux, de dépenses et un concours d'observations, que sa seule utilité scientifique ne

permettait pas d'espérer. L'occasion de la réaliser s'offrit en 1811. Depuis neuf années, le gouvernement français avait fait entreprendre par les ingénieurs géographes du département de la guerre, la triangulation de la Suisse, de la Savoie et de la haute Italie, pour servir à la confection de cartes topographiques militaires, qui devaient se raccorder à la carte de France de Cassini. La parfaite exécution de ces travaux, et l'habileté des ingénieurs qu'on en avait chargés, fit penser que l'on pourrait employer avec un égal succès leur talent et leur zèle à construire une nouvelle carte générale de la France, plus parfaite que l'ancienne; et, sur la proposition de M. Laplace, on décida que le réseau de triangles qui la composerait, serait rattaché centralement à deux lignes principales, la méridienne de France s'étendant de Perpignan à Dunkerque, et l'arc du 45e parallèle qui s'étend depuis la tour de Cordouan à l'ouest, jusqu'à la ville de Fiume en Istrie, sur une amplitude d'environ 15° 36′; avec l'espérance de pouvoir un jour le prolonger à travers le territoire turc, jusqu'à la mer Noire, ce qui comprendrait une amplitude totale de longitude excédant 31 degrés. La triangulation de ce parallèle fut immédiatement commencée et poursuivie avec activité, des deux côtés des Alpes par les ingénieurs géographes français, sous la direction de deux officiers supérieurs du même corps: pour la portion occidentale, le colonel Brousseau; pour l'orientale, le colonel Henri, dont les opérations devaient se joindre sous le méridien de Genève. Mais les événements politiques de 1813 et 1814 interrompirent les travaux. Ils ne purent être repris, pour la portion française de l'arc, qu'en 1818, sous la direction du colonel Brousseau, qui en acheva la triangulation en 1820. Cet officier rédigea alors un mémoire contenant toutes les indications nécessaires pour compléter les opérations qui restaient inachevées au delà des Alpes; et M. Laplace l'ayant transmis à l'Académie de Turin, appuyé de sa recommandation

toute-puissante, le concours proposé par son entremise fut aussitôt accepté. A la suite de cette communication, les gouvernements du Piémont et d'Autriche s'accordèrent à former une commission composée d'officiers d'état-major autrichiens et sardes, à laquelle on associa les habiles astronomes italiens MM. Carlini et Plana. Les travaux de triangulation ayant été conduits par cette commission jusqu'à Fiume, elle se réunit à la commission française pour mesurer les amplitudes des arcs célestes compris entre un certain nombre de stations réparties sur l'arc total et réciproquement visibles les unes des autres. Ce qui se fit au moyen de signaux de feu, le meilleur, ou plutôt le moins imparfait, des procédés que l'on connût alors. La télégraphie électrique et les transports de chronomètres fourniraient aujourd'hui des résultats incomparablement plus sûrs, de sorte que si l'on reprenait maintenant la mesure des intervalles de longitude par l'une ou l'autre de ces méthodes, la détermination complète de ce grand arc de parallèle qui s'étend de Bordeaux à Fiume ne laisserait rien à désirer.

Tous les travaux géodésiques et astronomiques qu'elle avait exigés, se trouvèrent terminés, vers la fin de l'année 1823. Alors on dut songer à mesurer l'intensité de la pesanteur, sur la portion de l'arc située à l'extérieur des Alpes, comme on l'avait déjà mesurée sur sa portion occidentale en 1818. Ce fut encore une des préoccupations de M. Laplace; et, grâce à l'amitié qu'il me portait, le Bureau des Longitudes en 1824 me chargea de ces expériences. Les trois stations qui me furent d'abord désignées étaient Milan, Padoue et Fiume; la seconde, placée dans la région anciennement volcanique des monts Euganéens, la dernière à l'extrémité orientale du parallèle. Mais je sollicitai et j'obtins l'autorisation d'ajouter à ce projet deux opérations, qui devaient en accroître considérablement l'utilité scientifique. La première c'était, en quittant Fiume, d'aller mesurer, avec

les mêmes appareils, l'intensité de la pesanteur dans les îles Éoliennes à Lipari, au milieu des grands foyers volcaniques actuellement en activité; puis, ce que j'avais depuis longtemps à cœur, de revenir encore une fois à Formentera, ce terme austral de notre arc méridien de France et d'Espagne, pour y déterminer de nouveau la latitude et la longueur du pendule, non pas avec plus de soins, mais avec des instruments plus parfaits et de meilleures méthodes, que nous n'avions pu le faire, Arago et moi, pendant notre premier séjour, en 1807 et 1808. Ce plan ayant été favorablement accueilli, le gouvernement du roi Louis XVIII mit à la disposition de l'opération la goélette de guerre *la Torche*, commandée par M. le Goarant de Tromelin, aujourd'hui contre-amiral, laquelle devait nous venir prendre à Fiume. J'étais assisté dans ce voyage par mon fils alors âgé de vingt-et un ans, qui concourut à toutes les opérations astronomiques et physiques, avec l'ardeur de la jeunesse soutenue par l'affection. Nous quittâmes Paris dans l'automne de l'année 1824, précédés par les recommandations du gouvernement français auprès des gouvernements étrangers, chez lesquels notre mission nous appelait; et ils nous donnèrent toutes les facilités désirables pour la remplir.

Après avoir terminé heureusement ces mesures en Italie, dans les îles Éoliennes, à Lipari, Biot se dirigea vers Formentera.

Quand nous fûmes arrivés au mouillage, je laissai la goélette à l'ancre, et m'embarquant dans un canot, nous allâmes prendre terre, sur la rive prochaine, en vue d'un petit village appelé, je crois, Santa-Eulalia. La première maison qui se présenta était celle d'un débitant d'épiceries et autres denrées de toutes sortes. Il était en ce moment occupé à vendre de la poudre à une pratique; nous étant annoncés, moi et mon compagnon, l'acheteur se tourna vers nous avec une extrême surprise. C'était

justement le frère de mon ancien hôte de la Mola. Il me reconnut aussitôt, me sauta au col, et oubliant son achat de poudre, il se mit à allumer une pipe en signe de joie, puis il m'accabla de questions : « Comment, c'est vous, don Juan? vous venez nous revoir après tant d'années! Comment vous portez-vous? Que venez-vous faire ici, et en quoi púis-je vous y servir? — Je reviens, lui dis-je, comme autrefois, m'établir pendant un mois à la Mola, dans la maison de votre frère, avec un gros bagage d'instruments que j'ai laissés dans cette goélette qui est ici en vue; et j'ai besoin de trouver, le plus tôt possible, une vingtaine de mulets pour les transporter là-haut. — Vous les aurez, don Juan, vous les aurez; je cours avertir l'alcade de les réunir. » Nous allâmes ensemble présenter une requête qui fut aussitôt accordée. On savait bien qu'il ne s'agissait pas d'une prestation gratuite, mais d'un payement assuré. La reconnaissance ainsi faite, il n'y avait plus rien à craindre [1]. Je fis avertir la goélette de tout débarquer...... Le débarquement s'effectua sans nul dommage, et par le concours actif ainsi que bienveillant de nos matelots et des gens du pays. Nos caisses d'instruments, nos malles, les planches mêmes de la cabane, étant chargées sans retard sur nos mulets, notre caravane se mit en route pour la Mola, où nous arrivâmes vers minuit, mourant de fatigue et de sommeil. Notre hôte que j'avais fait prévenir de notre arrivée par un exprès, nous reçut avec la même cordialité que son frère, et après avoir déchargé notre bagage, renvoyé les hommes satisfaits, nous passâmes tranquillement le reste de la nuit sous son toit, sans avoir besoin de faire avec lui aucune condition pour notre soudain envahissement. Il comptait sur moi, comme moi sur lui. Dès lors le succès de notre entreprise ne dépendait plus que de

1. On avait fait craindre à Biot un accueil hostile de la part des habitants. — J. G.

nous. Le lendemain les appareils du pendule furent attachés aux mêmes murailles, et aux mêmes places, où on les avait établis dix-sept années auparavant, mais on ne pouvait commencer à les observer avant d'avoir monté jusqu'à la station les gros blocs de pierre qui devaient servir de supports aux horloges et aux instruments astronomiques. Ce fut une opération très difficile, ayant à leur faire gravir des sentiers rocailleux, à pentes rapides, à peine praticables pour des mulets et des chèvres. Il fallut les placer sur des rouleaux de bois, et les tirer jusqu'à nous, à force de bras. On s'occupa aussitôt de les enfoncer profondément dans le sol, d'y établir les instruments, et de monter la cabane destinée à les abriter. Nous choisîmes pour cela un emplacement tout proche de l'ancienne station, qui avait été religieusement préservée de toute atteinte par une croix, que nous nous gardâmes bien de déplacer. En tout cela nous fûmes puissamment assistés par une escouade de matelots et d'ouvriers de la goélette que commandait un officier, M. Denans, lequel s'était dévoué à partager notre solitude, et qui s'associa également à nos observations avec autant de zèle que d'habileté. Cette escouade, composée d'hommes actifs et intelligents, resta campée près de nous, sous une tente, pendant tout notre séjour; non pour nous protéger, cela n'était pas nécessaire, mais pour nous aider, ce qu'ils firent efficacement. Un soir j'entendis l'un d'eux déclamant des vers attentivement écoutés. Je demandai à M. Denans quel était ce poète qui les captivait. C'était Corneille! ils lisaient un vieil exemplaire détaché de la tragédie du *Cid*.

Enfin le 7 juin 1825, toutes nos dispositions étant terminées, les instruments montés, les horloges réglées, nous commençâmes nos opérations astronomiques et physiques, qui furent continuées sans interruption jusqu'au 1[er] juillet suivant. Dans cet intervalle de vingt-six jours, et d'autant de nuits, nous recueillîmes 33 mesures de la longueur du pendule; 1 060 observations de

latitude faites des deux côtés du zénith, tant de nuit que de jour, et réparties en 80 séries, distinctes entre elles; sans compter une multitude de passages d'étoiles, observés à la lunette méridienne, pour déterminer la marche de nos horloges. Le nombre considérable de ces déterminations, le parfait établissement de notre observatoire, l'excellence de nos instruments, et les améliorations nouvelles que j'avais introduites dans la manière de les employer, tout cela me persuadait que nous avions accompli notre tâche, autant que nous en étions capables. Il aurait été inutile de rester plus longtemps. En conséquence, tout notre équipage astronomique fut promptement démonté, remballé, et remis à bord de la goélette, même les blocs de pierres; puis après avoir récompensé notre bon hôte et sa famille, pour le trouble que nous leur avions causé, et les soins qu'ils avaient pris de nous, pendant tout le temps de notre séjour, nous les quittâmes; eux très affligés de nous voir partir pour toujours, nous d'en être à jamais séparés. J'avais éprouvé la même émotion en quittant les bons habitants des îles Shetland. L'affection ressentie et inspirée par des cœurs simples, n'est pas moins douce que les amitiés du monde, et ne laisse pas moins de souvenirs.

Après avoir quitté Formentera, nous fîmes voile pour Barcelone. Dans ce trajet, en longeant la côte de Valence, je revis de loin, avec une satisfaction mêlée de tristesse, ce redoutable pic du *Desierto de las Palmas*, au haut duquel nous avions séjourné, Arago et moi, pendant trois mois, sans savoir si nous pourrions apercevoir les feux des réverbères que j'avais fait allumer sur les montagnes d'Yviça, pour nous servir de signaux. Cela revenait à nous demander si nous pourrions faire traverser la mer à nos triangles; ou si, après de vains efforts pour réussir dans cette entreprise, nous irions, comme Méchain, mourir de la fièvre dans quelque village de la côte, avec le désespoir d'y avoir échoué.

Arrivés à Barcelone, tout nous devint facile; les appareils destinés à la mesure du pendule et les instruments astronomiques furent promptement établis dans la citadelle, où M. Denans se dévoua encore à seconder mon fils et moi dans toutes nos opérations. Quand elles tirèrent à leur fin, je confiai à tous deux le soin de l'achever et je revins à Paris où des obligations impérieuses me rappelaient. Tout étant terminé, mon fils ramena à Paris, sans encombre, tous les appareils qui nous avaient été confiés. (BIOT, *Mélanges scientifiques et littéraires*, t. I, p. 93.)

Les opérations de Biot et Arago ont été complétées en 1879 par les soins du colonel Perrier et du général Ibanez [1], qui ont accompli la jonction géodésique de l'Espagne et de l'Algérie.

Jonction géodésique de l'Algérie avec l'Espagne.

Si l'on jette les yeux sur une carte d'Europe et que l'on considère l'immense série de travaux géodésiques qui couvrent actuellement d'un bout à l'autre les Iles Britanniques, la France, l'Espagne et l'Algérie, on comprendra aussitôt combien il importait de relier entre eux ces grands réseaux de triangles pour en faire un tout allant de la plus septentrionale des îles Shetland, par 61° de latitude, jusqu'au grand désert d'Afrique, par 34°. Il s'agit là, en effet, du tiers à peu près de la distance de l'équateur au pôle. La mesure de son amplitude géodésique et astronomique devait être une des plus belles contributions que la géodésie pût offrir aux géomètres pour l'étude de la figure du globe terrestre. Biot et Arago, à leur retour d'Espagne, avaient entrevu cette possibilité dans un lointain avenir, si jamais, disaient-ils, la civili-

1. Morts tous deux, le général Perrier, membre de l'Institut en 1889; le général Ibanez, marquis de Mulhacen, Président du Comité permanent de la Commission internationale du mètre, correspondant de l'Institut, en 1891. — J. G.

sation s'établissait de nouveau sur les rives qu'Arago avait trouvées si inhospitalières. Ce rêve, bien hardi, s'est pourtant réalisé; l'Algérie, devenue française, a eu besoin d'une carte comme la France : la triangulation qui devait lui servir de base est terminée depuis des années; nous venons de la rendre utile à la science, en déterminant astronomiquement les points principaux. De son côté, l'Espagne terminait ses opérations géodésiques sur son territoire, en leur donnant une précision bien remarquable. Il ne restait donc plus qu'à franchir la Méditerranée par de grands triangles pour unir d'un seul coup tous ces travaux. Les deux gouvernements d'Espagne et de France ont tenu à honneur d'entreprendre cette œuvre de concert; ils ont chargé de l'exécution les officiers espagnols de l'Institut géographique et les officiers d'état-major français qui sont attachés au service géodésique du Ministère de la guerre.

Je viens dire à l'Académie, après le général Ibanez, qui lui a déjà annoncé en son nom et au mien le service commun, que la jonction des deux continents est enfin réalisée et lui donner des détails qui lui permettront d'apprécier l'œuvre entreprise par les deux pays. Désormais la science possède un arc méridien de 27°, le plus grand qui ait été mesuré sur la terre et projeté astronomiquement sur le ciel.

Il y a longtemps que nous nous préparions à cette grande opération, dont le succès exigeait les ressources de tout genre que deux grands corps militaires pouvaient seuls fournir. Dès 1868, j'avais opéré en Algérie une reconnaissance détaillée des points d'où l'on apercevait quelques cimes des côtes opposées, et... j'avais établi que de tous les points géodésiques du premier ordre compris entre Oran et la frontière du Maroc on pouvait distinguer, par des temps favorables, les crêtes dentelées des sierras de Grenade et de Murcie.

J'avais observé les directions et calculé les distances,

sans me laisser arrêter par l'énormité de celles-ci. Je comptais alors sur la puissance des signaux solaires pour franchir des distances de 70 lieues.

Enfin j'étais certain que, en choisissant bien les couples de stations, nos trajectoires lumineuses passeraient à 300 mètres et 400 mètres au-dessus de la mer, échappant ainsi absolument aux réfractions anormales qui se produisent parfois dans les couches basses de l'atmosphère. Mais, pour montrer combien il faut se méfier en pareille matière, alors qu'on s'approche de si près des limites du pouvoir de nos sens et de nos instruments, combien, dis-je, il faut douter des aperçus et même des calculs les mieux fondés, il me suffira de rapporter ce fait : les signaux solaires ont complètement échoué; pas un seul n'a été vu ni en Espagne, ni en Algérie. Nous aurions éprouvé un échec complet et désastreux si nous n'avions préparé, par un excès de prudence, d'autres moyens plus efficaces : je veux parler de la lumière électrique.

Mais, pour produire cette lumière avec l'intensité nécessaire, il fallait recourir à des appareils électro-magnétiques actionnés par des machines à vapeur. Dès lors la question se posait ainsi : hisser tous ces appareils avec des machines de six chevaux de force sur des cimes de 1 000 mètres, 2 000 mètres et 3 550 mètres d'altitude, créer des routes sur ces montagnes désertes, organiser des relais d'approvisionnement pour l'eau et le charbon, enfin placer et nourrir à chaque station une compagnie de 30 à 100 hommes et 15 ou 20 bêtes de somme.

L'Académie voit que ces stations exceptionnelles ne devaient guère ressembler à celle de la géodésie ordinaire, que l'on garnit amplement avec un instrument portatif et deux ou trois aides. J'en ai fait faire des photographies pour les mettre sous les yeux de l'Académie et aussi pour conserver le souvenir d'un effort que la science n'aura peut-être plus l'occasion de renouveler.

D'après une convention dont tous les termes ont été

scrupuleusement exécutés de part et d'autre, les stations espagnoles devaient être occupées par des officiers espagnols et les stations algériennes par des officiers français, opérant chacun de leur côté d'après un concert parfait, mais aussi dans une complète indépendance. Cependant le choix des instruments ainsi que tous les travaux préparatoires m'avaient été entièrement confiés. Ainsi c'est le cercle azimutal dont nous nous servons en France et que j'ai eu l'honneur de présenter autrefois à l'Académie qui a mesuré tous les angles dans les quatre stations. C'est le projecteur du colonel Mangin dont nous avons fait usage pour lancer la lumière électrique dans les directions observées. C'est la machine électro-magnétique de Gramme qui a produit les courants transformés en lumière dans l'appareil de M. Serrin.

Tous ces appareils ont été commandés et exécutés à Paris. Dès qu'ils nous furent livrés, M. le général Ibanez, le colonel Barraquer et le major Lopez vinrent les étudier et faire avec nous des expériences photométriques de jour et de nuit. Il s'agissait de se rendre maître de ces appareils compliqués et de se rendre compte de leur puissance.

Les résultats furent décisifs aux yeux de nos collaborateurs espagnols.

Maintenant, j'oserai prier l'Académie de vouloir bien se représenter un instant les quatre cimes que nous avions choisies, Mulhacen et Tética en Espagne, Filhaoussen et M'Sabiha entre Oran et la frontière du Maroc, pour former par-dessus la Méditerranée le quadrilatère de jonction. Chaque cime avait son poste militaire, les nôtres avec leurs gardes arabes, car il fallait garantir nos hommes et nos chevaux, marchant isolément jour et nuit pour nous ravitailler, contre les attaques à main armée des tribus insoumises de la frontière. Depuis bien des mois nos soldats travaillaient à nos routes; on avait hissé pièce à pièce les piliers en pierre de taille, les machines à vapeur,

les projecteurs de lumière, les machines Gramme, les instruments et les maisons en bois qui devaient les abriter isolément; on avait installé les tentes, les écuries et les magasins. Tout était prêt enfin, malgré d'incroyables difficultés, encore plus grandes en Espagne qu'en Afrique. Mais le temps dont on disposait était étroitement limité. Avant la mi-août, les opérations eussent été impraticables sous notre soleil brûlant; après septembre, dès les premiers froids, les neiges nouvelles auraient soudainement chassé de Mulhacen, la montagne la plus élevée de l'Espagne, les soldats, les guides et les observateurs.

Le 20 août, tout le monde était à son poste; le colonel Barraquer sur la cime du Mulhacen, le major Lopez sur celle du Tética, le capitaine d'état-major Bassot sur le mont Filhaoussen. Je m'étais réservé la station de M'Sabiha. Le temps était beau, mais les vapeurs qui montaient de la Méditerranée ne se laissaient pas traverser par les faisceaux de rayons solaires dirigés sur nos instruments. La nuit, les signaux électriques ne paraissaient pas davantage. Nous avons connu alors, pendant vingt jours, l'anxiété profonde qu'éprouvèrent Biot et Arago en pointant en vain pendant trois mois leurs lunettes sur les réverbères d'Iviça. Enfin, le 9 septembre, après vingt jours d'attente fiévreuse, j'apercevais la lumière électrique de Tética, visible parfois à l'œil nu, sous la forme d'un disque rougeâtre arrondi, de teinte uniforme, comparable comme éclat à l'étoile du Bouvier qui se levait dans le voisinage à l'horizon de la mer.

Le lendemain 10, j'apercevais les feux électriques de Mulhacen. Nos collègues espagnols apercevaient aussi nos signaux, et nous entrions enfin dans la période des observations définitives. Commencées le 9 septembre, elles étaient terminées le 18 octobre.

La jonction géodésique des deux continents était enfin réalisée. (Colonel Perrier, *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, 24 nov. 1879, t. LXXXIX, p. 885).

CHAPITRE IV

NEWTON ET L'ATTRACTION UNIVERSELLE

La vie de Newton a été écrite plusieurs fois en Angleterre, notamment par sir David Brewster. Aucune de ces biographies n'a été traduite en français. Mais M. Biot a consacré à Newton et à la discussion de certains points de sa vie plusieurs articles du *Journal des Savants* [1]. C'est à cette source que devront remonter ceux qui voudraient étudier à fond la vie, le caractère et les œuvres de cet homme extraordinaire. Citons encore, comme très utiles à consulter : l'*Éloge de Newton*, par Fontenelle; l'article *Newton*, dans le volume III des *Notices biographiques* d'Arago; l'ouvrage trop peu connu de M. Valson, sur *les Savants illustres du* XVIe *et du* XVIIe *siècle* [2]; l'*Histoire de la physique*, de Poggendorff [3], et enfin l'*Histoire des Sciences mathématiques*, de M. Max. Marie [4].

Isaac Newton est né à Woolsthorpe (Lincolnshire), le 25 décembre 1642 (vieux style), qui correspond au 5 janvier 1643 (nouveau style).

Il vint au monde, comme Kepler, si petit, si faible qu'on craignit longtemps pour sa vie.

Son père étant mort un peu avant sa naissance et sa mère Henriette Ayscough s'étant remariée, le jeune Isaac, âgé de trois ans, fut confié pendant quelque temps aux soins de sa

1. Ces articles ont été reproduits dans les *Mélanges scientifiques et littéraires*. Paris, Michel Lévy, 1858.
2. Paris, Victor Palmé, 1880. 2 v. in-12.
3. Paris, Dunod. 1883. 1 v. in-8°.
4. Paris, Gautier-Villars. 1883-88. 12 vol. petit in-8°.

grand'mère. Dès qu'il fut en âge de le faire, il suivit les cours de l'école de Grantham, petite ville voisine de Woolsthorpe.

Destiné d'abord par sa mère à diriger l'exploitation du domaine où elle vivait, il montra si peu d'aptitude pour ces fonctions et d'autre part des dispositions si extraordinaires pour l'étude que, sur le conseil de l'un de ses frères, sa mère renonça à son premier projet et se décida à lui faire continuer ses études.

Il entra en 1660 au collège de la Trinité, à Cambridge. Il eut le bonheur d'y trouver un maître, qui non seulement lui donna des leçons utiles, mais qui surtout sut reconnaître son génie et en préparer l'éclosion : ce que Michel Mœstlin avait été pour Kepler à l'université de Tübingue, Isaac Barrow le fut pour Newton à Cambridge.

Plus que jamais le jeune étudiant se livra à son goût pour l'étude solitaire et la méditation; deux ouvrages surtout lui fournirent l'aliment intellectuel nécessaire : la *Géométrie* de Descartes et l'*Arithmétique des infinis* de Wallis.

. . . .

A cette époque, en 1665, dit M. Biot[1], il quitta Cambridge, pour fuir la peste qui régnait à Londres, et se retira dans son domaine de Woolsthorpe. Au fond de cette solitude, qui sans doute devait lui rappeler avec délices les premiers développements de cette vive passion qu'il ressentait pour les sciences, il put enfin jouir en repos de lui-même, et s'abandonner sans obstacle à ce bonheur de la méditation, qui était tout pour lui[2].

Assis un jour sous un pommier, que l'on montre encore, une pomme tomba devant lui; et ce hasard réveillant peut-être dans son esprit les idées de mouvements accélérés et uniformes, dont il venait de faire usage dans sa méthode des fluxions, il se mit à réfléchir sur la nature de ce singulier pouvoir, qui sollicite les corps vers le centre

1. Biot, *Mélanges scientifiques et littéraires*, t. I, p. 134.
2. L'anecdote suivante est rapportée par Pemberton, contemporain de Newton et son ami particulier. Voltaire, dans ses *Éléments de philosophie,* dit qu'elle lui a été attestée par Mme Conduitt, propre nièce de Newton.

de la terre, qui les y précipite avec une vitesse continuellement accélérée, et qui s'exerce encore sans éprouver aucun affaiblissement appréciable sur les plus hautes tours et au sommet des montagnes les plus élevées. Aussitôt une nouvelle idée s'offrant à son esprit, comme un trait de lumière : « Pourquoi, se demanda-t-il, ce pouvoir ne s'étendrait-il pas jusqu'à la lune même; et alors que faudrait-il de plus pour la retenir dans son orbite autour de la terre? » Ce n'était là qu'une conjecture; mais quelle hardiesse de pensée ne fallait-il pas pour la former et la déduire d'un si petit accident! On juge bien que Newton s'appliqua tout entier à la vérifier. Alors il songea que, si la lune était en effet retenue autour de la terre par la pesanteur terrestre, les planètes, qui se meuvent autour du soleil, devaient être retenues de même dans leurs orbites par leur pesanteur vers cet astre. Mais [1], si une telle pesanteur existe, sa constance ou sa variabilité, ainsi que l'énergie de son pouvoir à diverses distances du centre, doivent se manifester dans la vitesse diverse des mouvements de circulation; et, par conséquent, sa loi doit pouvoir se conclure de ces mouvements comparés. Or il existe en effet entre eux une relation remarquable, que Kepler avait précédemment reconnue par l'observation; et cette relation est que les carrés des temps des révolutions des différentes planètes sont proportionnels aux cubes de leurs distances au soleil. En partant de cette loi, Newton trouva, par le calcul, que l'énergie de la pesanteur solaire décroissait proportionnellement au carré de la distance; et il faut remarquer qu'il ne put parvenir

1. Newton démontra plus tard la réalité de ce résultat, en le déduisant d'une loi observée par Kepler dans le mouvement de toutes les planètes, laquelle consiste en ce que les rayons vecteurs menés de chacune d'elles vers le soleil, décrivent autour de cet astre, des aires proportionnelles aux temps; mais il ne sut faire usage de cette loi, que lorsqu'il eut découvert le moyen de calculer le mouvement de circulation dans l'ellipse, c'est-à-dire vers la fin de l'année 1679.

à ce résultat sans avoir découvert le moyen d'évaluer, d'après la vitesse de circulation d'un corps et le rayon de son orbite supposée circulaire, l'effort avec lequel il tend à s'éloigner du centre, puisque c'est cet effort qui fait connaître l'intensité de la pesanteur à laquelle il doit être égal. Or c'est précisément dans cette déduction que consistent les beaux théorèmes donnés six ans après par Huyghens sur la force centrifuge; d'où l'on voit que Newton avait dû nécessairement découvrir par lui-même ces théorèmes.

Ayant ainsi déterminé la loi de la pesanteur des planètes vers le soleil, Newton essaya aussitôt de l'appliquer à la lune, c'est-à-dire, d'en conclure la vitesse de son mouvement de circulation autour de la terre, d'après sa distance déterminée par les astronomes, et en partant de l'intensité de la pesanteur, telle qu'elle se manifeste par la chute des corps à la surface de la terre même. Mais, pour effectuer ce calcul, on conçoit qu'il faut connaître exactement le rayon de la terre, c'est-à-dire la distance de sa surface à son centre, en parties de la même mesure qui sert à exprimer l'espace parcouru en un temps donné par les corps pesants, lorsqu'ils tombent près de cette surface : car cette vitesse est le premier terme de comparaison qui détermine l'intensité de la pesanteur à cette distance du centre; et l'on n'a plus ensuite qu'à l'étendre jusqu'à la distance de la lune, en l'affaiblissant, suivant la loi du carré : après quoi, tout se réduit à examiner si, ainsi diminuée, elle a précisément le degré d'énergie qu'il faut pour retenir la lune contre l'effort de la force centrifuge qu'excite en elle son mouvement de circulation, tel qu'on l'observe.

Malheureusement, à cette époque, il n'existait point encore de mesure exacte de la terre. Celles que l'on avait, et dont la recherche avait été suggérée uniquement par les applications nautiques, n'offraient que des évaluations extrêmement imparfaites.

Newton, réduit à les employer, trouva qu'elles indiquaient, pour la force qui retient la lune dans son orbite, une valeur plus grande de 1/6 que l'observation ne l'assigne d'après le mouvement de circulation de ce satellite. Cette discordance, qui aurait sans doute paru bien petite à tout autre, sembla, à cet esprit si sage, une preuve suffisamment décisive contre la conjecture hardie qu'il avait formée. Il pensa que quelque cause inconnue, peut-être analogue aux tourbillons de Descartes[1], modifiait, pour la lune, la loi générale de pesanteur que le mouvement des planètes indiquait. Il ne renonça donc point pour cela à son idée principale : et comment pourrait-on croire que l'on abandonnât de pareilles pensées? Mais, ce qui était un effort aussi grand et plus conforme au caractère de son esprit méditatif, il sut la conserver pour lui seul, et attendre que le temps lui révélât la cause inconnue qui modifiait une loi indiquée par de si fortes analogies.

Cela arriva seulement en 1682[2]. Vers le mois de juin de cette année, se trouvant à Londres à une séance de la Société royale, on vint à parler de la nouvelle mesure d'un degré terrestre, récemment exécutée en France par Picard; et l'on donna beaucoup d'éloges aux soins qu'il avait employés pour la rendre exacte. Newton s'étant fait communiquer la longueur du degré résultante de cette mesure, revint aussitôt chez lui; et, reprenant son premier calcul de 1665, il se mit à le refaire avec ces nouvelles données. Mais à mesure qu'il avançait, comme l'effet plus avantageux des nouveaux nombres se faisait sentir, et que la tendance favorable des résultats vers le but désiré devenait de plus en plus évidente, il se trouva tellement ému, qu'il ne put continuer davantage son calcul, et pria un de ses amis de l'achever[3].

Cette fois l'accord du résultat théorique avec l'observa-

1. Whiston, *Memoirs of himself*, p. 23, etc.
2. Biot. *Loc. cit.*, t. I, p. 169.
3. Robinson, *Elements of natural philosophy*, t. I, p. 288.

tion ne permettait plus aucun doute. L'effort de la pesanteur à la surface de la terre, tel qu'il se conclut des expériences sur la chute des corps, étant appliqué à la lune avec un affaiblissement proportionnel au carré des distances au centre de la terre, se trouvait presque identiquement égaler la force centrifuge de la lune, conclue de sa vitesse de circulation et de son éloignement observés. La petite différence qui restait encore entre ces deux résultats était même un nouvel indice d'exactitude; car, en supposant un pouvoir attractif émanant de tous les corps célestes, et réciproque au carré de leurs distances aux corps qu'ils attirent, le mouvement de la lune ne doit pas seulement dépendre de sa pesanteur vers la terre; il doit être aussi influencé par l'action du soleil; et cet effet, quoique excessivement affaibli par la distance, doit entrer pour quelque chose dans les résultats.

Aussi Newton ne douta plus; et ce grand génie, qui, pendant tant d'années, s'était tenu en suspens sur une loi qui ne lui avait pas semblé rigoureusement conforme à la nature, ne l'eut pas plutôt reconnue pour véritable, qu'il en pénétra dans l'instant les conséquences les plus éloignées, et les suivit toutes, avec une force, une continuité, et hardiesse de pensée dont il ne s'était jamais vu, dont il ne se verra peut-être jamais d'exemple chez un mortel. Car quel autre aura désormais à *démontrer*, le premier, des vérités de cet ordre? Toutes les parties de la matière gravitent les unes vers les autres, avec une force proportionnelle à leurs masses, et réciproque au carré de leurs distances mutuelles : cette force retient les planètes et les comètes autour du soleil, comme chaque système de satellites autour de sa planète principale : et par la communication universelle d'influences qu'elle établit entre les parties matérielles de tous ces corps, elle détermine la nature de leurs orbes, la forme de leurs masses, les oscillations des fluides qui les recouvrent, et leurs moindres mouvements, soit dans l'espace, soit sur eux-mêmes, tout

cela conformément aux lois observées! Qui pourra jamais donner la solution de questions naturelles plus élevées que celles-ci? Trouver la masse relative des différentes planètes; déterminer les rapports des axes de la terre; montrer la cause de la précession des équinoxes; trouver la force du soleil et de la lune pour soulever l'Océan! Telle fut la grandeur et la sublimité des objets qui s'ouvrirent aux méditations de Newton, après qu'il eut connu la loi fondamentale du système du monde. Doit-on s'étonner s'il en fut ému jusqu'à ne pas pouvoir achever la démonstration qui l'en assurait? C'est alors qu'il dut se sentir heureux de tant d'études profondes qu'il avait faites sur le mode d'action de toutes les forces naturelles, de tant de recherches expérimentales qu'il avait exécutées pour en connaître, pour en mesurer exactement les effets divers; enfin, et surtout, de ce calcul nouveau [1] qu'il s'était créé, et par lequel il lui devenait possible d'atteindre les phénomènes les plus composés, d'en mettre en évidence les éléments simples, d'obtenir ainsi les forces abstraites qui les produisent, pour redescendre ensuite, par la connaissance de ces forces, aux détails de tous les effets. Car, avec le même génie, s'il n'eût pas possédé tous ces moyens d'exploration, le développement de sa découverte lui eût été impossible, ou, du moins, il fût demeuré toujours incomplet et borné. Mais il les possédait, et n'avait plus qu'à en faire usage. Il voyait ainsi la pensée de toute sa vie réalisée, et l'objet constant de ses désirs atteint. Il se plongea désormais tout entier dans la jouissance de cette contemplation délicieuse. Pendant deux ans que Newton employa pour préparer et développer l'immortel ouvrage des *Principes de la Philosophie naturelle*, où tant de découvertes admirables sont exposées, il n'exista que pour calculer et penser; et, si la vie d'un être soumis aux besoins de l'humanité peut offrir quelque idée de l'existence pure

1. Le calcul infinitésimal, nommé par lui calcul des fluxions. — J. G.

d'une intelligence céleste, on peut dire que la sienne présenta cette image. Souvent, perdu dans la méditation de ces grands objets, il agissait sans songer qu'il agît, et sans que sa pensée semblât conserver aucun lien avec son corps. On rapporte que, plus d'une fois, commençant à se lever, il s'asseyait tout à coup sur son lit, arrêté par quelque pensée, et demeurait ainsi à moitié nu pendant des heures entières, suivant toujours l'idée qui l'occupait. Il aurait même oublié de prendre de la nourriture, si on ne l'en eût fait souvenir; et même, quand ce besoin se faisait sentir, il n'eût pas été impossible de lui persuader qu'il était satisfait [1].

Ce fut avec un pareil travail, et par l'effort non interrompu de la méditation la plus solitaire et la plus profonde, que Newton, Newton même, put développer toutes les vérités qu'il avait conçues, et qui étaient autant de déductions de sa première découverte; de sorte que l'on peut voir, par son exemple, à quelles pénibles conditions l'intelligence humaine, même la plus sublime, peut pénétrer profondément dans les mystères de la nature, et parvenir à lui arracher la vérité. Au reste, lui-même reconnaissait volontiers cette inévitable nécessité de la constance et de la continuité dans l'exercice de l'attention pour développer le pouvoir de l'intelligence; car un jour, comme on lui demandait de quelle manière il était parvenu à ses découvertes, il répondit : « En y pensant toujours »; et une autre fois, il expliquait ainsi son mode de travail :

1. Un jour, le docteur Stukeley, ami particulier de Newton, étant allé dîner avec lui, attendit longtemps qu'il sortît de son cabinet où il était renfermé. Enfin, pressé par le besoin, le docteur se résolut à manger d'un poulet qui se trouvait déjà placé sur la table; après quoi il remit les restes sur le plat, et y plaça aussi une cloche de métal qui servait à le couvrir. Enfin, plusieurs heures s'étant écoulées, Newton parut, et se mit à table, en témoignant qu'il avait grand'faim. Mais lorsqu'ayant levé la cloche, il vit les restes du poulet découpé : « Ah! dit-il, je croyais n'avoir pas dîné; mais je vois que je me trompais! »

« Je tiens, disait-il, le sujet de ma recherche constamment devant moi, et j'attends que les premières lueurs commencent à s'ouvrir lentement et peu à peu, jusqu'à se changer en une clarté pleine et entière ». Quelle vive et naïve peinture du génie, attendant le moment de l'inspiration! Il exprime encore le même sentiment dans une lettre adressée au docteur Bentley : « Croyez-moi, lui dit-il, si mes recherches ont produit quelques résultats utiles, ils ne sont dus qu'au travail, et *à une pensée patiente* ». Avec des goûts et des habitudes pareilles, on conçoit que la possession complète de lui-même et de ses propres idées devait être sa jouissance la plus vive. Aussi, malgré l'importance des résultats qu'il avait déjà obtenus, Newton ne se pressait point de s'en assurer la possession par la publicité; et peut-être aurait-il tardé pendant longtemps encore à les révéler, si une circonstance accidentelle ne l'avait décidé à s'y résoudre.

Les grands résultats[1] que Newton a rassemblés dans le livre des *Principes*, sont presque tous présentés sous une forme synthétique, analogue aux écrits des anciens géomètres. On peut toutefois affirmer qu'il ne les avait pas trouvés par la synthèse, qui n'est ni assez maniable ni assez féconde pour pouvoir être employée à deviner des vérités si compliquées, et à prévoir des déductions si éloignées de leur principe. Il est donc évident, par cette impossibilité même, qu'il était parvenu à ces grands résultats par le secours des méthodes analytiques, méthodes dont il avait lui-même si fort accru la puissance; et cette induction prend toute la certitude d'une vérité démontrée, lorsqu'on examine la correspondance écrite qui eut lieu entre Newton et Cotes, pour la seconde édition du livre des *Principes*.

Terminons rapidement, avant de citer quelques passages du livre des *Principes*, l'histoire de la vie de Newton.

1. BIOT. *Loc. cit.*, t. I, p. 188.

L'année 1693 marque dans cette histoire une date importante. A cette époque en effet, à la suite d'excès de travail d'une part, et d'autre part de l'émotion causée par un incendie qui détruisit des papiers d'une extrême importance, Newton subit une altération profonde de ses facultés et une perte presque totale de la mémoire.

Par un sentiment de piété, la plupart de ses biographes ont voulu taire cette partie de la vie de Newton et quelques-uns, dépassant le but, l'ont niée formellement. La publication de divers documents, notamment de manuscrits ignorés de Huyghens [1], ainsi que de plusieurs lettres de Newton et de journaux contemporains, ne laisse pas de doutes à cet égard. Toutefois, cet état dura peu et, grâce aux soins de ses amis, Newton recouvra la plénitude de sa raison.

C'est même à partir de cette époque que les honneurs et les titres vont s'accumuler sur sa personne. Nommé gardien de la Monnaie en 1696, grâce à l'influence toute-puissante de son ami lord Halifax, chancelier de l'Échiquier, il renonça à sa chaire du collège de la Trinité et fut trois ans après appelé aux fonctions importantes et largement rétribuées [2] de directeur de la Monnaie. La même année, lors de la création d'un très petit nombre d'associés étrangers de l'Académie Royale des sciences de Paris, il fut nommé l'un des premiers. En 1703, il fut nommé président de la Société Royale de Londres, et le resta jusqu'à sa mort. En 1705 enfin, il fut créé chevalier par la reine Anne.

Les dernières années de sa vie furent occupées par ses fonctions officielles, par la surveillance donnée à la publication de ses œuvres, et enfin par des polémiques très aigres et souvent

1. Une note manuscrite de Huyghens, retrouvée dans ses papiers par van Swinden et publiée par Uylenbroek en 1833, s'exprime ainsi : « Die 29 maii 1694, narravit mihi Dom. Colm, Scotus, virum celeberrimum ac rarum geometram Is. Neutonum incidisse in phrenitin abhinc anno et sex mensibus. An ex nimia studii assiduitate, an dolore infortunii, quod in incendio, laboratorium chemicum et scripta quædam amiserat ? Cum ad archiepiscopum Cantabrigiensem venisset, ea locutum quæ alienationem mentis indicarent; deinde ab amicis cura ejus suscepta, domoque clausa, remedia volenti nolenti adhibita, quibus jam sanitatem recuperavit, ut jam nunc librum suum *Principiorum* intelligere incipiat. » (J. Biot).

2. Le revenu annuel attaché à ces fonctions était de 1 200 livres sterling (30 000 fr.).

injustes avec plusieurs de ses contemporains. Il mourut de la pierre, après de cruelles souffrances supportées courageusement, le 20 mars 1727, à l'âge de 85 ans. Il fut enterré à Westminster avec des honneurs royaux : « le poêle était soutenu, nous dit Fontenelle, par Mylord grand chancelier, par les ducs de Montrose et de Roxburgh et par les comtes de Pembrocke, de Sussex et de Maclesfield. »

« Il avait, dit encore Fontenelle, la taille médiocre, avec un peu d'embonpoint dans ses dernières années, l'œil fort vif et fort perçant, la physionomie agréable et vénérable en même temps, principalement quand il ôtait sa perruque, et laissait voir une chevelure toute blanche, épaisse et bien fournie. Il ne se servit jamais de lunettes, et ne perdit qu'une seule dent pendant toute sa vie. Son nom doit justifier ces petits détails. »

Le manuscrit latin du livre des *Principes*, tout entier de la main de l'auteur, est conservé précieusement dans les archives de la Société Royale de Londres. Il fut publié sous le titre suivant :

Philosophiæ naturalis principia mathematica,

Autore Is. Newton, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore. Londini, anno MDCLXXXVII. 1 vol. in-4.

L'*Imprimatur* de Pepys, président de la Société Royale par l'ordre de laquelle (jussu Societatis Regiæ) se fait la publication, est du 5 juillet 1686.

Le livre des *Principes* eut, du vivant même de Newton, deux éditions nouvelles corrigées et augmentées, l'une en 1713, l'autre en 1725-26, toujours en latin.

Une traduction française des *Principes* de Newton parut en 1759 à Paris, sous ce titre :

Principes mathématiques de la philosophie naturelle, par feue Mme la marquise du Chastelet, à Paris 1759. Avec approbation et privilège du roi. 2 vol. in-4.

La traduction de la savante marquise, revue par Clairault, est restée fort estimée.

Elle fut faite sur la 3e édition latine, celle de 1726. — Elle

contient une longue préface historique de M. de Voltaire; et les trois préfaces de Newton aux éditions de 1686, 1713 et 1726.

Nous reproduisons la préface de 1686.

Les anciens, comme nous l'apprend Pappus, firent beaucoup de cas de la Mécanique dans l'interprétation de la nature, et les modernes ont enfin, depuis quelque temps, rejeté les formes substantielles et les qualités occultes, pour rappeler les phénomènes naturels à des lois mathématiques. On s'est proposé dans ce Traité de contribuer à cet objet, en cultivant les Mathématiques en ce qu'elles ont de rapport avec la philosophie naturelle.

Les anciens partagèrent la mécanique en deux classes, l'une théorique qui procède par des démonstrations exactes, l'autre pratique. De cette dernière ressortissent tous les arts qu'on nomme mécaniques dont cette science a tiré sa dénomination. Mais, comme les artisans ont coutume d'opérer peu exactement, de là est venu qu'on a tellement distingué la Mécanique de la Géométrie, que tout ce qui est exact s'est rapporté à celle-ci, et ce qui l'était moins à la première. Cependant les erreurs que commet celui qui exerce un art sont de l'artiste et non de l'art. Celui qui opère moins exactement est un mécanicien moins parfait, et conséquemment celui qui opérera parfaitement sera le meilleur.

La Géométrie appartient en quelque chose à la Mécanique, car c'est de cette dernière que dépend la description des lignes droites et des cercles sur lesquels elle est fondée. Il est effectivement nécessaire que celui qui veut s'instruire dans la géométrie sache décrire ces lignes avant de prendre les premières leçons de cette science : après quoi on lui apprend comment les problèmes se résolvent par le moyen de ces opérations. On emprunte de la Mécanique leur solution : la Géométrie enseigne leur usage, et se glorifie du magnifique édifice qu'elle élève en empruntant si peu d'ailleurs. La Géométrie est donc fondée sur une

pratique mécanique et elle n'est autre chose qu'une branche de la Mécanique universelle qui traite et qui démontre l'art de mesurer. Mais comme les arts usuels s'occupent principalement à remuer les corps, de là il est arrivé que l'on a assigné à la Géométrie la grandeur pour objet, et à la Mécanique le mouvement. Ainsi la Mécanique théorique sera la science démonstrative des mouvements qui résultent des forces quelconques, des forces nécessaires pour engendrer des mouvements quelconques.

Les anciens qui ne considérèrent guère autrement la pesanteur que dans le poids à remuer, cultivèrent cette partie de la Mécanique dans leurs cinq puissances qui regardent les arts manuels; mais nous qui avons pour objet, non les arts, mais l'avancement de la Philosophie, ne nous bornant pas à considérer seulement les puissances manuelles, mais celles que la nature emploie dans ses opérations, nous traitons principalement de la pesanteur, la légèreté, la force électrique, la résistance des fluides et les autres forces de cette espèce, soit attractives, soit répulsives : c'est pourquoi nous proposons ce que nous donnons ici comme les principes mathématiques de la Philosophie naturelle. En effet, toute la difficulté de la Philosophie paraît consister à trouver les forces qu'emploie la nature, par les phénomènes du mouvement que nous connaissons, et à démontrer ensuite par là les autres phénomènes. C'est l'objet qu'on a eu en vue dans les propositions générales du Ier et du IIe livre, et on en donne un exemple dans le IIIe, en expliquant le système de l'Univers : car on y détermine par les propositions mathématiques démontrées dans les deux premiers livres, les forces avec lesquelles les corps tendent vers le soleil et les planètes; après quoi, à l'aide des mêmes propositions mathématiques, on déduit de ces forces, les mouvements des Planètes, des Comètes, de la Lune et de la Mer. Il serait à désirer que les autres phénomènes que nous présente la nature, pussent se dériver aussi heu-

reusement des principes mécaniques; car plusieurs raisons me portent à soupçonner qu'ils dépendent tous de quelques forces dont les causes sont inconnues, et par lesquelles les particules des corps sont poussées les unes vers les autres, et s'unissent en figures régulières, ou sont repoussées et se fuient mutuellement, et c'est l'ignorance où l'on a été jusqu'ici de ces forces, qui a empêché les philosophes de tenter l'explication de la nature avec succès. J'espère que les principes que j'ai posés dans cet ouvrage pourront être de quelque utilité à cette manière de philosopher, ou à quelque autre plus véritable, si je n'ai pas touché au but.....

Je prie les savants de lire cet ouvrage avec indulgence et de regarder les défauts qu'ils y trouveront, moins comme dignes de blâme, que comme des objets qui méritent une recherche plus approfondie et de nouveaux efforts.

A Cambridge, du Collège de la Trinité, le 8 mai 1686.

Is. NEWTON.

L'ouvrage est partagé en trois livres, divisés eux-mêmes en sections, théorèmes, problèmes, corollaires, scholies.

Dans le premier livre, *de Motu corporum*, Newton rappelle d'abord les principes et les lois de la mécanique générale, notamment le principe de l'inertie :

1re LOI. — « Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenùs a viribus impressis cogitatur statum illum movere. » (Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état [1].)

2e LOI. — Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice, et se font

1. C'est le *Principe de l'inertie*. — L'énoncé de chaque loi est suivi dans le texte de Newton d'un commentaire et d'exemples. — J. G.

dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée.

3[e] LOI. — L'action est toujours égale et opposée à la réaction; c'est-à-dire les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales, et dans des directions contraires.

COROLLAIRE I. — Un corps poussé par deux forces parcourt par leurs actions réunies, la diagonale d'un parallélogramme dans le même temps dans lequel il aurait parcouru ses côtés séparément.

COROLLAIRE II. — D'où l'on voit qu'une force directe AD est composée des forces obliques quelconques AB et BD, et réciproquement qu'elle peut toujours se résoudre dans les forces obliques quelconques AB et BD. Cette résolution et cette composition des forces se trouvent confirmées à tout moment dans la mécanique.

COROLLAIRE III. — La quantité de mouvement qui résulte de la somme de tous les mouvements vers le même côté, et de leurs différences, vers des côtés opposés, ne change point par l'action des corps entre eux.

COROLLAIRE IV. — Le centre commun de gravité de deux corps ou de plusieurs corps ne change point son état de mouvement et de repos, par l'action réciproque de ces corps; ainsi le centre commun de gravité de tous les corps qui agissent les uns sur les autres (supposé qu'il n'y ait aucune action ni aucun obstacle extérieur) est toujours en repos, ou se meut uniformément en ligne droite.

COROLLAIRE V. — Les mouvements des corps enfermés dans un espace quelconque sont les mêmes entre eux, soit que cet espace soit en repos, soit qu'il se meuve uniformément en ligne droite sans mouvement circulaire.

COROLLAIRE VI. — Si des corps se meuvent entre eux d'une façon quelconque, et qu'ils soient poussés par des forces accélératrices égales, et qui agissent sur eux, sui-

vant des lignes parallèles, ils continueront à se mouvoir entre eux de la même manière que si ces forces ne leur avaient pas été imprimées.

Scholie. — Les principes que j'ai expliqués jusqu'à présent sont reçus de tous les mathématiciens, et confirmés par une infinité d'expériences. Les deux premières lois du mouvement, et les deux premiers corollaires ont fait découvrir à Galilée que la descente des graves est en raison doublée du temps, et que les projectiles décrivent une parabole; ce qui est conforme à l'expérience, si on fait abstraction de la résistance de l'air qui retarde un peu tous ces mouvements.

La gravité étant uniforme, elle agit également à chaque particule égale de temps, ainsi elle imprime au corps qui tombe des vitesses et des forces égales : et dans le temps total elle lui imprime une force totale et une vitesse totale proportionnelle au temps. Mais les espaces décrits dans des temps proportionnels sont comme les vitesses et les temps conjointement, c'est-à-dire en raison doublée des temps. Donc, lorsque les corps sont jetés en haut, la gravité leur imprime des forces et leur ôte des vitesses proportionnelles aux temps. Ainsi les temps que ces corps mettent à monter à la plus grande hauteur, sont comme les vitesses que la gravité leur fait perdre et ces hauteurs sont comme les temps multipliés par les vitesses, ou en raison doublée des vitesses. Le mouvement d'un corps jeté suivant une ligne droite quelconque, est donc composé du mouvement de projection et du mouvement que la gravité lui imprime. En sorte que si le corps A (fig. 1), par le seul mouvement de projection, peut décrire dans un temps donné la droite AB, et que par le seul mouvement qui le porte vers la terre, il puisse décrire la ligne AC dans le même temps; en achevant le parallélogramme ABCD, ce corps, par un mouvement composé, sera à la fin de ce temps au lieu D; et la courbe AED qu'il décrira sera une parabole que la

droite AB touchera au point A, et dont l'ordonnée BD sera proportionnelle à AB.

C'est sur ces mêmes lois et sur leurs corollaires qu'est fondée la théorie des oscillations des pendules [1], vérifiée tous les jours par l'expérience. Par ces mêmes lois, le

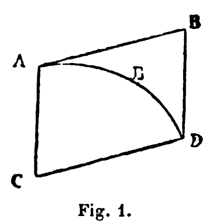


Fig. 1.

chevalier *Christophe Wrenn* [2], *J. Wallis* [3] et *Chrétien Hugens* [4], qui sont sans contredit les premiers géomètres des derniers temps, ont découvert, chacun de leur côté, les lois du choc et de la réflexion des corps durs; ils communiquèrent presque en même temps leurs découvertes à la Société Royale; ces découvertes s'accordent parfaitement sur ce qui concerne ces lois: *Wallis* fut le premier qui en fit part à la Société Royale, ensuite *Wrenn* et enfin *Hugens*; mais ce fut *Wrenn* qui les confirma par des expériences faites avec des pendules devant la Société Royale; lesquelles le célèbre *Mariotte* a rapportées depuis dans un traité qu'il a composé exprès sur cette matière.

Newton établit ensuite le théorème des aires et sa réciproque :

Proposition 1 [5]. — Dans les mouvements curvilignes des corps, les aires décrites autour d'un centre immobile sont dans un même plan immobile, et sont proportionnelles au temps.

1. Établie par Galilée. Voir plus haut, p. 11. — J. G.
2. *Christophe Wren* (1632-1723), professeur à l'université d'Oxford, architecte de Saint-Paul de Londres, de l'hôpital de Chelsea, etc. — J. G.
3. *John Wallis* (1616-1703), professeur à Oxford. — J. G.
4. *Christian Huyghens* (1629-1695).
5. Édition française des *Principes*, t. I. p, 48.

PROPOSITION 2. — La force centripète d'un corps qui se meut dans une ligne courbe, décrite sur un plan et qui parcourt autour d'un point immobile, ou mû uniformément en ligne droite, des aires proportionnelles au temps, tend nécessairement à ce point.

« Il calcule ensuite, dit M. Marie [1], la force accélératrice dans le cas d'un mouvement elliptique où la loi des aires s'observe par rapport au foyer, et trouve que cette force varie en raison inverse du carré du rayon vecteur; enfin, retournant le problème, il suppose un mobile attiré vers un centre fixe, en raison inverse du carré de la distance, et il trouve que la trajectoire sera une conique.

« Cette théorie si simple est admirable de tous points; mais il est juste, en rendant à Newton les honneurs qu'il mérite, de nommer Huyghens, dont la théorie de la force centripète, dans le mouvement circulaire uniforme, avait en partie aplani les difficultés. »

Ce premier livre contient une application intéressante des propositions précédentes aux phénomènes de la réfraction. Elle donnera une idée de la marche suivie par Newton.

Dans la 14e section, il étudie le :

« Mouvement des corpuscules (corporum minimorum), attirés par toutes les parties d'un corps quelconque. »

Il établit les propositions suivantes (I, 235) :

PROPOSITION 94. *Théorème* 48. — Si deux milieux, dont chacun est homogène, sont séparés par un espace terminé de part et d'autre par des plans parallèles, et qu'un corps en passant par cet espace soit attiré ou poussé perpendiculairement vers l'un ou l'autre de ces milieux, que de plus il n'éprouve aucune autre force qui le retarde ou l'accélère; et que l'attraction soit toujours la même partout à des distances égales de l'un et de

1. MARIE, *Histoire des sciences mathématiques*, t. V, p. 173.

l'autre plan, prises du même côté de ces plans : le sinus d'incidence sur l'un ou l'autre plan sera en raison donnée au sinus d'émergence par l'autre plan.

PROPOSITION 95. *Théorème* 49. — Les mêmes choses étant posées, la vitesse du corps avant l'incidence est à sa vitesse après l'émergence, comme le sinus d'émergence au sinus d'incidence.

PROPOSITION 96. *Théorème* 50. — Les mêmes choses étant posées, et supposant de plus que le mouvement avant l'incidence soit plus prompt qu'après : si on donne une certaine inclinaison à la ligne d'incidence, le corps se réfléchira et fera l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.

Après avoir établi ces propositions de pure mécanique, Newton continue ainsi (I, 238) :

SCHOLIE. — On peut appliquer ces recherches sur l'attraction à la réflexion de la lumière et à sa réfraction qui se fait, comme Snellius l'a découvert, en raison donnée des sécantes, et par conséquent en raison donnée des sinus, ainsi que Descartes l'a fait voir.

Car il est certain, par la découverte des phénomènes des satellites de Jupiter confirmée par les observations de plusieurs astronomes, que la propagation de la lumière est successive et qu'elle vient du soleil à la terre en 7′ à 8′; et les rayons en passant près des angles des corps opaques ou transparents tels que l'extrémité d'une lame de couteau, d'une pièce de monnaie, d'un morceau de verre, ou de pierre, etc., s'infléchissent autour de ces corps comme s'ils en étaient attirés : c'est ce qu'a découvert Grimaldi, il y a longtemps, en faisant entrer un rayon de lumière par un trou dans une chambre obscure, et ce que j'ai vérifié.

Newton est obligé d'admettre dans cette théorie que :

La réfraction ne se fait pas dans le seul point de l'inci-

dence, mais peu à peu, par l'incurvation continuelle des rayons, laquelle se fait en partie dans l'air avant qu'ils atteignent le verre, et en partie, si je ne me trompe (*ni fallor*), dans le verre même après qu'ils y sont entrés.

Cette prudente réserve de Newton — *ni fallor* — est encore accentuée dans le passage suivant :

A cause de l'analogie qui est entre le mouvement progressif de la lumière, et celui des autres projectiles, j'ai cru nécessaire d'ajouter les propositions suivantes en faveur des opticiens. Au reste, je ne m'embarrasse point de la nature des rayons, je n'examine point s'ils sont matériels ou non; mais je me contente de déterminer les trajectoires des corps qui peuvent être semblables à celles que décrivent les rayons.

Et Newton donne des règles pour la construction des verres ou lentilles susceptibles de fournir des foyers et des images.

Le second livre des *Principes* traite *du mouvement des corps dans un milieu résistant.*

La 5e section traite :

De la densité et de la compression des fluides et de l'hydrostatique.

C'est un traité d'hydrostatique fondé sur la définition du fluide :

Les corps fluides sont ceux dont les parties cèdent à toute espèce de force qui agit sur eux, et qui se meuvent très facilement entre eux.

Ce second livre se termine par le scholie suivant :

Il est donc certain que les planètes ne sont point transportées par des tourbillons de matière. Car les planètes qui tournent autour du soleil, selon l'hypothèse de

Copernic, font leurs révolutions dans des ellipses qui ont le soleil dans un de leurs foyers, et elles parcourent des aires proportionnelles au temps.... Ainsi l'hypothèse des tourbillons répugne à tous les phénomènes astronomiques et paraît plus propre à les troubler qu'à les expliquer. Mais on peut comprendre, par ce qui a été dit dans le premier livre, comment ces mouvements peuvent s'exécuter sans tourbillons dans un espace libre. Et cela sera encore mieux expliqué dans le troisième livre.

Nous arrivons au troisième livre des *Principes* qui faisait dire à Lagrange, confondu d'admiration, qu'il était né trop tard, puisqu'il n'y avait plus de système du monde à découvrir.

Il est intitulé, en effet, Système du Monde : *de Mundi systemate.*

Newton énonce d'abord les règles qu'il faut suivre dans l'étude de la physique; puis il expose sous le titre de Phénomènes les résultats auxquels a conduit l'observation des planètes.

Règle I. — Il ne faut admettre de causes que celles qui sont nécessaires pour expliquer les phénomènes.

Règle II. — Les effets du même genre doivent toujours être attribués autant qu'il est possible à la même cause.

Règle III. — Les qualités des corps qui ne sont susceptibles ni d'augmentation, ni de diminution, et qui appartiennent à tous les corps sur lesquels on peut faire des expériences, doivent être regardées comme appartenant à tous les corps en général.

On ne peut connaître les qualités des corps que par l'expérience. Ainsi on doit regarder comme des qualités générales celles qui se trouvent dans tous les corps, et qui ne peuvent souffrir de diminution, car il est impossible de dépouiller les corps des qualités qu'on ne peut diminuer. On ne peut pas opposer des rêveries aux expériences, et on ne doit point abandonner l'analogie de la nature qui est toujours simple et semblable à elle-même.

L'étendue des corps ne se connaît que par les sens, et elle ne se fait pas sentir dans tous les corps : mais comme l'étendue appartient à tous ceux qui tombent sous nos sens, nous affirmons qu'elle appartient à tous les corps en général.

Nous éprouvons que plusieurs corps sont durs : or la dureté du tout vient de la dureté des parties; ainsi nous admettons cette qualité non seulement dans les corps dans lesquels nos sens nous la font éprouver, mais nous en inférons, avec raison, que les particules indivisées de tous les corps doivent être dures.

Nous concluons de la même manière que tous les corps sont impénétrables. Car tous ceux que nous touchons étant impénétrables, nous regardons l'impénétrabilité comme une propriété qui appartient à tous les corps.

Tous les corps que nous connaissons étant mobiles, et doués d'une certaine force (que nous appelons force d'inertie) par laquelle ils persévèrent dans le mouvement ou dans le repos, nous concluons que tous les corps en général ont ces propriétés. L'extension, la dureté, l'impénétrabilité, la mobilité et l'inertie du tout vient donc de l'extension, de la dureté, de l'impénétrabilité, de la mobilité et de l'inertie des parties; d'où nous concluons que toutes les petites parties de tous les corps sont étendues, dures, impénétrables, mobiles et douées de la force d'inertie. Et c'est là le fondement de toute la physique.

De plus, nous savons encore par les phénomènes, que les parties contiguës des corps peuvent se séparer, et les mathématiques font voir que les parties indivisées les plus petites peuvent être distinguées l'une de l'autre par l'esprit. On ignore encore si ces parties distinctes, et non divisées, pourraient être séparées par les forces de la nature; mais s'il était certain par une seule expérience, qu'une des parties qu'on regarde comme indivisibles, eût souffert quelque division en séparant ou brisant un corps dur quelconque : nous conclurions par cette règle, que

non seulement les parties divisées sont séparables, mais que celles qui sont indivisées peuvent se diviser à l'infini.

Enfin, puisqu'il est constant par les expériences et par les observations astronomiques, que tous les corps qui sont près de la surface de la terre pèsent sur la terre, selon la quantité de leur matière; que la lune pèse sur la terre à raison de sa quantité de matière, que notre mer pèse à son tour sur la lune, que toutes les planètes pèsent mutuellement les unes sur les autres, et que les comètes pèsent aussi sur le soleil, on peut conclure suivant cette troisième règle que tous les corps gravitent mutuellement les uns vers les autres. Et ce raisonnement en faveur de la gravité universelle des corps, tiré des phénomènes, sera plus fort que celui par lequel on conclut leur impénétrabilité : car nous n'avons aucune expérience, ni aucune observation qui nous assure que les corps célestes sont impénétrables. Cependant je n'affirme point que la gravité soit essentielle aux corps. Et je n'entends par la force qui réside dans les corps, que la seule force d'inertie, laquelle est immuable; au lieu que la gravité diminue lorsqu'on s'éloigne de la terre.

Newton donne ensuite sous forme de théorèmes et de problèmes la série des propositions qui le conduisent à l'établissement de la loi de l'attraction universelle et du système du monde.

Les premières propositions établissent successivement pour les satellites de Jupiter, pour les planètes, pour la lune, que la force qui les retient dans leurs orbites tend respectivement vers Jupiter, vers le soleil ou vers la terre et qu'elle est comme le carré de leur distance au centre de l'astre.

Après la proposition 5, vient le scholie suivant :

Nous avons appelé jusqu'ici la force qui retient les corps célestes dans leur orbite *force centripète*. On a prouvé que cette force est la même que la gravité; ainsi, dans la suite, nous l'appellerons *gravité*.

Il continue ensuite; nous ne donnons, sans démonstration, que l'énoncé de quelques-unes des propositions :

PROPOSITION 6. *Théorème* 6. — Tous les corps gravitent vers chaque planète et sur la même planète quelconque, leurs poids, à égale distance du centre, sont proportionnels à la quantité de matière que chacun d'eux contient.

PROPOSITION 7. *Théorème* 7. — La gravité appartient à tous les corps, et elle est proportionnelle à la quantité de matière que chaque corps contient.

PROPOSITION 8. *Théorème* 8. — Si la matière de deux globes est homogène à égales distances de leurs centres, le poids de l'un de ces globes vers l'autre sera réciproquement comme le carré de la distance qui est entre leurs centres.

Et après avoir établi ces propositions, Newton en déduit le rapport des masses du soleil, de Jupiter, de Saturne et de la terre; puis le rapport des densités de ces quatre astres. Les nombres de Newton ont été rectifiés depuis, grâce à des données plus précises. Mais cette détermination n'en représente pas moins un prodigieux effort de génie.

Newton retrouve ensuite les lois de Kepler, comme conséquences des propositions précédentes :

PROPOSITION 13. *Théorème* 13. — Les planètes se meuvent dans des ellipses qui ont un de leurs foyers dans le centre du soleil, et les aires décrites autour de ce centre sont proportionnelles au temps.

Mais en vertu de cette attraction, les astres en passant les uns près des autres doivent s'attirer, et leurs mouvements doivent en être troublés. C'est ce que Newton établit dans les propositions suivantes :

PROPOSITION 22. *Théorème* 18. — Tous les mouvements de la lune et toutes ses inégalités sont une suite et se tirent des principes qu'on a posés ci-dessus.

PROPOSITION 23. *Problème* 5. — Les inégalités des mou-

vements des satellites de Jupiter et de Saturne peuvent se déduire des mouvements de la Lune.

PROPOSITION 24. *Théorème* 18. — Le flux et le reflux de la mer sont causés par les actions de la Lune et du Soleil.

PROPOSITION 25. *Problème* 6. — Trouver les forces du soleil pour troubler les mouvements de la lune.

Les propositions suivantes, 25 à 35, sont consacrées à l'étude des mouvements de la Lune.

Puis Newton revient à l'étude des marées, et recherche successivement la force du soleil, puis celle de la lune pour mouvoir les eaux de la mer. Il en déduit le rapport de la densité, et celui de la masse de la Lune à celles du Soleil et de la Terre.

La proposition 39, problème 20, est consacrée à l'étude du phénomène de la précession des équinoxes.

Le reste du livre est consacré à l'étude des comètes, de leur nature, de leur trajectoire. Enfin le livre et tout l'ouvrage se terminent par le célèbre scholie général où, à côté de vues théologiques contestables, se trouve un acte de foi et un hymne d'admiration trop peu connus et qu'on nous saura gré de reproduire.

Scholie général.

.... Les projectiles n'éprouvent ici-bas d'autres résistances que celles de l'air, et dans le vide de Boyle [1] la résistance cesse, en sorte qu'une plume et de l'or y tombent avec une égale vitesse. Il en est de même des espaces célestes au-dessus de l'atmosphère de la terre, lesquels sont vides d'air : tous les corps doivent se mouvoir très librement dans ces espaces; et par conséquent, les planètes et les comètes doivent y faire continuellement leurs révolutions dans des orbes donnés d'espèce et de position, en suivant les lois ci-dessus exposées. Et elles doivent

1. C'est le vide de la machine pneumatique, perfectionnée par Robert Boyle. — J. G.

continuer par les lois de la gravité à se mouvoir dans leurs orbes, mais la position primitive et régulière de ces orbes ne peut être attribuée à ces lois.

Les six planètes principales [1] font leurs révolutions autour du soleil dans des cercles qui lui sont concentriques, elles sont toutes à peu près dans le même plan, et leurs mouvements ont la même direction.

Les dix lunes qui tournent autour de la Terre, de Jupiter et de Saturne, dans des cercles concentriques à ces planètes, se meuvent dans le même sens et dans les plans des orbes de ces planètes à peu près. Tous ces mouvements si réguliers n'ont point de causes mécaniques; puisque les comètes se meuvent dans des orbes fort excentriques, et dans toutes les parties du ciel.

Par cette espèce de mouvement, les comètes traversent très vite et très facilement les orbes des planètes, et dans leur aphélie où leur mouvement est très lent, et où elles demeurent très longtemps, elles sont si éloignées les unes des autres que leur attraction mutuelle est presque insensible.

Cet admirable arrangement du soleil, des planètes et des comètes ne peut être que l'ouvrage d'un être tout-puissant et intelligent. Et, si chaque étoile fixe est le centre d'un système semblable au nôtre, il est certain que tout portant l'empreinte d'un même dessein, tout doit être soumis à un seul et même être; car la lumière, que le soleil et les étoiles fixes se renvoient mutuellement, est de même nature. De plus, on voit que Celui qui a arrangé cet univers a mis les étoiles fixes à une distance immense les unes des autres, de peur que ces globes ne tombassent les uns sur les autres par la force de leur gravité.

Cet être infini gouverne tout, non comme l'âme du monde, mais comme le Seigneur de toutes choses.... Le mot Dieu signifie quelquefois le Seigneur. Mais tout Sei-

1. Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne.

gneur n'est pas Dieu. La domination d'un Être spirituel est ce qui constitue Dieu; elle est vraie dans le vrai Dieu, elle s'étend à tout dans le Dieu qui est au-dessus de tout; et elle est seulement fictive et imaginée dans les faux dieux. Il suit de ceci que le vrai Dieu est un Dieu vivant, intelligent et puissant; qu'il est au-dessus de tout et entièrement parfait. Il est éternel et infini, tout-puissant et omniscient, c'est-à-dire qu'il dure depuis l'éternité passée et dans l'éternité à venir, et qu'il est présent par tout l'espace infini : il régit tout, et il connaît tout ce qui est et tout ce qui peut être. Il n'est pas l'éternité ni l'infinité, mais il est éternel et infini; il n'est pas la durée ni l'espace, mais il dure et il est présent; il dure toujours et il est présent partout; il est existant toujours et en tout lieu....

.... De même qu'un aveugle n'a pas l'idée des couleurs, ainsi nous n'avons point d'idées de la manière dont l'Être suprême sent et connaît toutes choses.... Nous avons des idées de ses attributs, mais nous n'en avons aucune de sa substance. Nous voyons les figures et les couleurs des corps, nous entendons leurs sons, nous touchons leurs superficies extérieures, nous sentons leurs odeurs, nous goûtons leurs saveurs; mais, quant aux substances intimes, nous ne les connaissons par aucun sens ni par aucune réflexion; et nous avons encore beaucoup moins d'idée de la substance de Dieu. Nous le connaissons seulement par ses propriétés et ses attributs, par la structure très sage et très excellente des choses et par leurs causes finales. Nous l'admirons à cause de ses perfections; nous le révérons et nous l'adorons à cause de son empire; nous l'adorons comme soumis, car un Dieu sans providence, sans empire et sans causes finales, n'est autre chose que le destin et la nature; la nécessité métaphysique, qui est toujours et partout la même, ne peut produire aucune diversité; la diversité qui règne en tout, quant aux temps et aux lieux, ne peut venir que de la volonté et de la sagesse d'un être qui existe nécessairement.

.... Voilà ce que j'avais à dire de Dieu, dont il appartient à la philosophie naturelle d'examiner les ouvrages.

J'ai expliqué jusqu'ici les phénomènes célestes et ceux de la mer par la force de la gravitation, mais je n'ai assigné nulle part la cause de cette gravitation. Cette force vient de quelque cause qui pénètre jusqu'au centre du soleil et des planètes, sans rien perdre de son activité. Elle n'agit point selon la grandeur des superficies (comme les causes mécaniques), mais selon la quantité de la matière; et son action s'étend de toutes parts à des distances immenses, en décroissant toujours dans la raison doublée [1] des distances.

La gravité vers le soleil est composée des gravités vers chacune de ses particules, et elle décroît exactement, en s'éloignant du soleil, en raison doublée des distances, et cela jusqu'à l'orbe de Saturne, comme le repos des aphélies des planètes le prouve, et elle s'étend jusqu'aux dernières aphélies des comètes si ces aphélies sont en repos.

Je n'ai pu encore parvenir à déduire des phénomènes la raison de ces propriétés de la gravité, et je n'imagine point d'hypothèses. Car tout ce qui ne se déduit point des phénomènes est une hypothèse; et les hypothèses, soit métaphysiques, soit physiques, soit mécaniques, soit celles des qualités occultes, ne doivent pas être reçues dans la philosophie expérimentale.

Dans cette philosophie, on tire les propositions des phénomènes, et on les rend ensuite générales par induction. C'est ainsi que l'impénétrabilité, la mobilité, la force des corps, les lois du mouvement et celles de la gravité ont été connues. Et il suffit que la gravité existe, qu'elle agisse selon les lois que nous avons exposées, et qu'elle puisse expliquer tous les mouvements des corps célestes et ceux de la mer.

Ce serait ici le lieu d'ajouter quelque chose sur cette

1. On dit aujourd'hui en raison du carré des distances. — J. G.

espèce d'esprit très subtil qui pénètre à travers tous les corps solides, et qui est caché dans leur substance; c'est par la force et l'action de cet esprit que les particules des corps s'attirent mutuellement aux plus petites distances, tant pour attirer que pour repousser les corpuscules voisins. Et c'est encore par le moyen de cet esprit que la lumière émane, se réfléchit, s'infléchit, se réfracte et échauffe les corps; toutes les sensations sont excitées, et les membres des animaux sont mus, quand leur volonté l'ordonne, par les vibrations de cette substance spiritueuse qui se propage des organes extérieurs des sens, par les filets solides des nerfs jusqu'au cerveau et ensuite du cerveau dans les muscles. Mais ces choses ne peuvent s'expliquer en peu de mots; et on n'a pas fait encore un nombre suffisant d'expériences pour pouvoir déterminer exactement les lois selon lesquelles agit cet esprit universel.

Les pages suivantes de Laplace sont un commentaire éloquent de ce qui précède.

Le mouvement de la terre et l'attraction universelle.

Le mouvement de la terre, qui par la simplicité avec laquelle il explique les phénomènes célestes, avait entraîné les suffrages des astronomes, a reçu du principe de la pesanteur, une confirmation nouvelle qui l'a porté au plus haut degré d'évidence dont les sciences physiques soient susceptibles. On peut accroître la probabilité d'une théorie, soit en diminuant le nombre des hypothèses sur lesquelles on l'appuie, soit en augmentant le nombre des phénomènes qu'elle explique. Le principe de la pesanteur a procuré ces deux avantages à la théorie du mouvement de la terre. Comme il en est une suite nécessaire, il n'ajoute aucune supposition nouvelle à cette théorie. Mais pour expliquer les mouvements des astres,

Copernic admettait dans la terre trois mouvements distincts : l'un autour du soleil; un autre de révolution sur elle-même; enfin, un troisième mouvement de ses pôles autour de ceux de l'écliptique. Le principe de la pesanteur les fait dépendre tous d'un seul mouvement imprimé à la terre, suivant une direction qui ne passe point par son centre de gravité. En vertu de ce mouvement, elle tourne autour du soleil et sur elle-même; elle a pris une figure aplatie à ses pôles; et l'action du soleil et de la lune sur cette figure, fait mouvoir lentement l'axe de la terre autour des pôles de l'écliptique. La découverte de ce principe a donc réduit au plus petit nombre possible, les suppositions sur lesquelles Copernic fondait sa théorie. Elle a d'ailleurs l'avantage de lier cette théorie à tous les phénomènes astronomiques. Sans elle, l'ellipticité des orbes planétaires, les lois que les planètes et les comètes suivent dans leurs mouvements autour du soleil, leurs inégalités séculaires et périodiques, les nombreuses inégalités de la Lune et des satellites de Jupiter, la précession des équinoxes, la nutation de l'axe terrestre, les mouvements de l'axe lunaire, enfin le flux et le reflux de la mer, ne seraient que des résultats de l'observation, isolés entre eux. C'est une chose vraiment digne d'admiration, que la manière dont tous ces phénomènes qui semblent, au premier coup d'œil, fort disparates, découlent d'une même loi qui les enchaîne au mouvement de la terre, en sorte que ce mouvement étant une fois admis, on est conduit, par une suite de raisonnements géométriques, à ces phénomènes. Chacun d'eux fournit donc une preuve de son existence, et si l'on considère qu'il n'y en a pas maintenant un seul, qui ne soit ramené à la loi de la pesanteur; que cette loi déterminant avec la plus grande exactitude la position et les mouvements des corps célestes, à chaque instant et dans tout leur cours, il n'est pas à craindre qu'elle soit démentie par quelque phénomène jusqu'ici non observé; enfin que la planète Uranus et ses satellites,

et les quatre petites planètes nouvellement découvertes [1], lui obéissent et la confirment; il est impossible de se refuser à l'ensemble de ces preuves, et de ne pas convenir que rien n'est mieux démontré dans la philosophie naturelle que le mouvement de la terre, et le principe de la gravitation universelle, en raison des masses, et réciproque au carré des distances....

Ce principe est-il une loi primordiale de la nature? n'est-il qu'un effet général d'une cause inconnue? Ici, l'ignorance où nous sommes des propriétés intimes de la matière nous arrête, et nous ôte tout espoir de répondre d'une manière satisfaisante à ces questions.....

Existe-t-il entre les corps célestes d'autres forces que leur attraction mutuelle? Nous l'ignorons; mais nous pouvons du moins affirmer que leur effet est insensible. Nous pouvons assurer également, que tous ces corps n'éprouvent qu'une résistance jusqu'à présent insensible, de la part des fluides qu'ils traversent, tels que la lumière, les queues de comètes et la lumière zodiacale. La masse du soleil doit s'affaiblir sans cesse par l'émission continuelle de ses rayons. Mais, soit à cause de l'extrême ténuité de la lumière, soit parce que cet astre répare la perte qu'il éprouve, par des moyens jusqu'ici inconnus, il est certain que, depuis deux mille ans, sa substance n'a pas diminué d'un deux-millionième.

La nature nous offre, dans les phénomènes électriques et magnétiques, des forces répulsives qui suivent la même loi que la pesanteur universelle. Coulomb a fait voir, par des expériences très délicates, que les points animés de deux électricités semblables se repoussent en raison inverse du carré de la distance, et qu'ils s'attirent suivant la même loi, lorsque les électricités sont contraires. En

1. Cérès, Pallas, Junon, Vesta, découvertes de 1801 à 1807. — Il en est de même pour la planète Neptune et pour les nombreuses petites planètes (aujourd'hui 301) découvertes entre Mars et Jupiter. — J. G.

concevant les électricités opposées comme deux fluides différents, parfaitement mobiles dans les corps conducteurs et contenus par les surfaces des corps non conducteurs; en supposant ensuite que les molécules d'un même fluide se repoussent mutuellement et attirent les molécules de l'autre fluide suivant la loi des attractions célestes; on peut leur appliquer les formules relatives à ces attractions. C'est ainsi que je suis parvenu à démontrer que le fluide électrique dans un corps conducteur doit, pour l'équilibre, se porter en entier à la surface où il se forme une couche extrêmement mince contenue par l'air qui l'enveloppe. Sa répulsion est nulle dans son intérieur; mais à sa surface extérieure, elle est à chaque point, proportionnelle à l'épaisseur de la couche : la pression qu'un de ses points extérieurs éprouve, et en vertu de laquelle il tend à s'échapper, est proportionnelle au carré de cette épaisseur. Sur un ellipsoïde quelconque, les deux surfaces extérieure et intérieure de la couche sont semblables et concentriques à la surface de l'ellipsoïde : si l'ellipsoïde est de révolution et allongé, la tendance du fluide à s'échapper aux pôles est à sa tendance à s'échapper à l'équateur dans le rapport du carré du grand axe au carré du petit axe; ce qui donne une explication mathématique du pouvoir des pointes. Mais la distribution des fluides électriques sur un corps de figure quelconque, ou sur plusieurs corps en présence les uns des autres, est un problème d'une extrême difficulté, qui peut donner lieu à des recherches analytiques très curieuses; car la solution de ces questions difficiles a l'avantage de perfectionner à la fois la physique et l'analyse. Déjà M. Poisson, par une analyse fort ingénieuse, est parvenu à déterminer la loi suivant laquelle l'électricité se répand à la surface de deux sphères en présence l'une de l'autre. L'accord de ses résultats avec les expériences de Coulomb confirme la justesse du principe qui leur sert de base. On doit considérer toutes ces forces comme des concepts mathé-

matiques propres à les soumettre au calcul, et non comme des qualités inhérentes aux molécules électriques. Il est possible qu'elles soient les résultantes d'autres forces analogues aux affinités qui ne sont sensibles par elles-mêmes, qu'extrêmement près du contact, mais dont l'action, au moyen de fluides intermédiaires, est transmise à des distances sensibles, et en raison inverse du carré de ces distances. (LAPLACE, *Exposition du système du monde*, t. II, p. 259.)

CHAPITRE V

LE PRINCIPE D'ARCHIMÈDE

C'est Archimède [1], bien plus qu'Aristote, qui marque dans l'antiquité le point culminant des sciences mathématiques et physiques. Le principe qui porte son nom est la première loi de la physique qui ait été établie, plus de deux cents ans avant l'ère chrétienne. Mais ce n'est pas sans de nombreuses vicissitudes que cette loi fut enfin acceptée comme une vérité incontestable. Il y fallut deux mille ans et l'effort successif de plusieurs hommes de génie. M. Thurot [2] a raconté cette histoire dans des pages remarquables et trop peu connues [3]. Nous y ferons quelques emprunts.

Archimède, dit M. Thurot [4], composa un *Traité des corps flottants* [5] où il établit le principe d'hydrostatique qui porte son nom et les conditions d'équilibre des conoïdes.

1. *Archimède*, né à Syracuse en — 287, parent du roi Hiéron, suivit les leçons d'Euclide à Alexandrie; il retarda par ses inventions la prise de Syracuse par les Romains et fut tué par un soldat qui ne le connaissait pas (— 212). — J. G.

2. *Charles Thurot*, né à Paris en 1823, mort à Paris en 1882; maître de conférences à l'Ecole normale supérieure; membre de l'Académie des inscriptions et belles-lettres. — J. G.

3. *Recherches historiques sur le principe d'Archimède*, Paris, Librairie académique. — Extrait de la *Revue archéologique* (1868-1869), in-8 de 88 p.

4. *Recherches historiques*, etc., p. 12.

5. En grec : Περὶ τῶν ὕδατι ἐφισταμένων ἢ περὶ τῶν ὀχουμένων. — En latin : *de Insidentibus aquæ*.

Au jugement de Lagrange, cette seconde partie de l'ouvrage « est un des plus beaux monuments du génie d'Archimède et renferme une théorie de la stabilité des corps flottants à laquelle les modernes ont peu ajouté [1] ». Quant à la première, les démonstrations d'Archimède ont été très perfectionnées, parce qu'on s'est appuyé sur un principe qu'Archimède ignorait, à savoir qu'un liquide transmet en tous sens la pression exercée en vertu de la pesanteur par ses couches supérieures sur les inférieures.

En effet, Archimède débute en demandant qu'on lui accorde les propositions suivantes : « Supposons que tout liquide soit de telle nature que, ses parties étant également situées et continues, la moins poussée soit chassée par la plus poussée, et en outre que chacune de ses parties soit poussée suivant la verticale par les parties qui sont au-dessus d'elle, quand le liquide descend et est pressé par quelque autre corps. » Avec ce principe, Archimède démontre facilement qu'un corps de même pesanteur (spécifique) que le liquide où il est abandonné plongera tout entier, mais ne descendra pas plus bas, parce que les parties du liquide qui sont au-dessous ne seront pas plus pressées que celles qui sont à côté [2]; et par conséquent le liquide sera en équilibre. Il n'a pas de peine non plus à démontrer qu'un corps plus pesant que le liquide où il est abandonné descendra jusqu'au fond [3], parce que les parties du liquide qui seront

1. *Mécanique analytique*, I, 168 (éd. J. Bertrand).

2. Theor. III. — Solidarum magnitudinum quæ æqualis molis et æqualis ponderis cum humido dimissæ in humidum demergentur ita ut superficiem humidi non excedant nihil, et non adhuc referentur inferius.... Similiter enim prementur omnes partes humidi ex æquo positæ, quia solidum est æque grave. — Le texte latin cité par M. Thurot est celui de Curtius : *Archimedis de insidentibus aquæ liber primus, liber secundus.* Venetiis, apud Curtium Trojanum, 1565, in-4.

3. Theor. VII. — Graviora humido dimissa in humidum ferentur deorsum, donec descendant.

au-dessous seront plus pressées que celles qui sont à côté; et par conséquent le liquide ne sera en équilibre que quand le corps aura atteint le fond [1]. Mais il était plus embarrassant d'établir au moyen de ce principe qu'un corps plus léger que le liquide où il est abandonné restera en partie au-dessus de la surface [2]. Voici comment Archimède a procédé.

Soit un solide plus léger que le liquide. Supposons qu'il

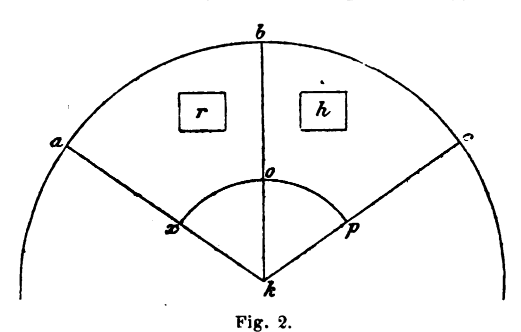


Fig. 2.

soit entièrement plongé dans le liquide, s'il est possible, sans qu'aucune partie ne s'élève au-dessus de la surface. Supposons que dans ces conditions le liquide reste immobile. Que l'on se représente (fig. 2) un plan mené par le centre de la terre [3], le liquide et le solide; la surface du liquide sera coupée suivant la circonférence *abc*, le solide

1. Theor. VII. — Partes enim humidi quæ sub ipsius premuntur magis quam partes ex æquo ipsis jacentes, quoniam solida magnitudo supponitur gravior humido.

2. Theor. IV. — Solidarum magnitudinum quæcumque levior fuerit humidi dimissa in humidum non demergetur tota, sed erit aliquid ipsius extra superficiem humidi.

3. Archimède a démontré précédemment (Theor. II) que la surface d'une eau tranquille et immobile est une surface de sphère qui a pour centre le centre de la terre; et c'est toujours au centre de la terre qu'il rapporte la situation des différentes parties du liquide qu'il considère dans ses démonstrations. (Note de M. Thurot.)

suivant la figure où est *r*; le centre de la terre sera *k*. Que l'on se représente encore une pyramide, comprenant *r* et ayant le point *k* pour sommet, coupée par le plan *abc* suivant *ak*, *kb*. Prenons une autre pyramide égale et semblable, coupée par le plan *abc* suivant *bk*, *kc*. Décrivons ensuite dans le liquide au-dessous de *r*, une surface de sphère avec *k* pour centre, qui sera coupée par le plan *abc* suivant *xop*. Enfin, qu'on se représense dans la pyramide *bkc* un volume de liquide *h* [1] égal au solide *r*. La partie du liquide qui est sous la surface *xo* et celle qui est sous la surface *op* sont situées également et continues; mais elles ne sont pas également pressées. Celle qui est sous *xo* est pressée par le solide *r* et par le liquide qui le contient et qui est renfermé dans *abox*; celle qui est sous *op* est pressée par le volume de liquide *h* et par le reste du liquide contenu dans *pobc*. Mais le poids du solide *r* est moindre que celui du volume de liquide *h*, puisque *r* est d'un volume égal, mais est supposé plus léger que le liquide; et, d'autre part, les poids des portions du liquide qui contiennent *r* et *h* sont égaux, puisque les pyramides sont égales. Donc la portion du liquide qui est sous *op* sera plus pressée et chassera la portion la moins pressée; et le liquide ne sera pas immobile [2]; or on supposait qu'il restait immobile. Donc le corps ne plongera pas tout entier, et une portion restera au-dessus de la surface du liquide.

Logiquement, la démonstration est irréprochable. Le corps abandonné dans le liquide sera entièrement plongé, ou il ne sera pas entièrement plongé. Ce sont là des propositions contradictoirement opposées, dont l'une est nécessairement vraie, si l'autre est fausse. Mais cette

1. Intelligatur autem et magnitudo absumpta ab humido, quæ secundum *h*.

2. Magis igitur premitur pars humidi quod sub superficiebus quæ secundum periferiam *op*. Expellet ergo quod minus premitur, et non manet humidum non motum.

démonstration indirecte et négative ne nous montre pas *physiquement* comment le corps spécifiquement plus léger que le liquide est poussé en haut.

Nous avons tenu à citer complètement ce passage afin de donner au lecteur une idée du mode de démonstration employée par Archimède. Nous nous bornerons à énoncer la suite des propositions, sans les démontrer.

Archimède demande, avant de traiter de l'équilibre des conoïdes, qu'on lui accorde que le corps poussé en haut dans un liquide monte suivant la verticale qui passe par son centre de gravité [1]. Il démontre sans doute facilement que la portion d'un corps plus léger que le liquide, qui y est plongée, est égale à un volume du liquide dont le poids est le même que le poids du corps entier [2]....

Mais il est obligé de procéder indirectement pour démontrer qu'un corps plus léger que le liquide où il est enfoncé de force se relève et est porté en haut avec une force égale à la quantité dont le poids d'une portion de liquide égale au corps surpasse le poids du corps [3]....

Il suit la même marche pour démontrer qu'un corps plus pesant que le liquide où il est plongé y sera plus léger d'une quantité égale au poids d'un volume du liquide qui est le même que le volume du corps....

1. Suppositio II. — Supponatur eorum quæ in humido sursum feruntur unumquodque sursum ferri secundum perpendicularem quæ per centrum gravitatis ipsorum producitur.

2. Theor. V. — Solidarum magnitudinum quæcumque fuerit levior humidi dimissa in humidum in tanto demergetur, ut tanta moles humidi, quanta est moles demersæ, habeat æqualem gravitatem cum tota magnitudine.

3. Theor. VI. — Solida leviora humido, vi pressa in humidum surrexi (*sic*; *sans doute* surrecta) feruntur tanta vi ad superius, quanto humidum habens molem æqualem cum magnitudine est gravius magnitudine.

Bien que l'énoncé habituel du principe d'Archimède contienne les différents cas examinés successivement par le géomètre de Syracuse, cette dernière proposition peut être considérée comme le texte primitif du principe. Aussi en donnons-nous le texte grec, ainsi que le texte latin (toujours d'après Curtius). C'est le théorème VII.

Τὰ βαρύτερα τοῦ ὑγροῦ στερεὰ... ἔσται τοσούτῳ κουφότερα ἐν τῷ ὑγρῷ, ὅσον ἔχει τὸ βάρος τὸ ὑγρὸν ἰσομέγεθες τῷ στερεῷ μεγέθει. — *Graviora humido... erunt leviora in humido tantum, quantum habet gravitas humidi habentis tantam molem, quanta est moles solidæ magnitudinis.*

C'est donc par de longs détours, remarque M. Thurot, qu'Archimède arrive à démontrer ces propositions, faute de savoir que la pression subie par une portion d'un liquide est transmise dans tous les sens. Il démontre que la chose doit se passer de telle façon, mais il ne montre pas pourquoi elle est ainsi. Au reste, si les conditions d'équilibre des corps abandonnés dans un liquide n'étaient pas rapportées à leur véritable cause, elles n'en étaient pas moins formulées avec une rigoureuse précision....

Il faut que l'ouvrage d'Archimède ait été très peu répandu; car on rencontre à peine dans l'antiquité quelques vestiges de ce qu'il y enseigne. Les uns y font des allusions plus ou moins vagues, les autres l'ignorent complètement.

L'une des preuves les plus curieuses de la connaissance des propriétés des corps flottants est la description suivante de l'aréomètre, dans un poème latin du IVe ou du Ve siècle, intitulé : *Carmen de ponderibus* [1].

« On façonne avec de l'argent ou de l'airain un cylindre de la longueur de l'intervalle qui sépare les nœuds du

1. Ce poème a été publié sous le nom de Priscien dans la collection des *Poetæ latini minores*. Nous donnons la traduction de Thurot (*loc. cit.*, p. 22). — J. G.

roseau; on le leste à la partie inférieure pour qu'il n'enfonce pas entièrement et ne sorte pas entièrement du liquide. On trace du sommet à la base du cylindre une ligne droite que l'on partage en autant de divisions que le cylindre pèse de *scrupules* (1 gr. 137). On pourra ainsi constater le poids d'un liquide. S'il n'est pas dense, la plus grande partie du cylindre s'enfonce; s'il est dense, la plus grande partie surnage. Si le cylindre s'enfonce de 21 degrés dans un liquide et de 24 dans un autre, le premier liquide sera plus pesant que le second d'une *drachme* (3 gr. 411). Si l'on prend le même volume de deux liquides, le plus dense pèsera le plus; si l'on prend le même poids, le moins dense aura le volume le plus considérable. »

Mais si les faits établis par Archimède n'avaient pas été entièrement oubliés, le livre où il les exposait était perdu. Un hasard le fit retrouver vers 1540, dans un manuscrit grec, en très mauvais état. Le mathématicien Tartaglia en fit une traduction latine dont il publia une partie à Venise en 1543. Le traité complet fut publié, après la mort de Tartaglia, par le libraire vénitien Curtius Trojanus (Venise, 1565) et par Commandin (Bologne, 1565). C'est donc à partir de cette date seulement que le traité d'Archimède fut connu et étudié.

Simon Stevin, de Bruges (1548-1620) alla plus loin : non seulement il donna une nouvelle démonstration du principe d'Archimède, mais il découvrit les lois de la pression que les couches supérieures d'un liquide exercent sur les couches inférieures et sur le fond des vases. Il trouva ainsi le vrai principe de l'*hydrostatique*, terme dont il est l'auteur [1].

1. Le traité d'hydrostatique de Stevin a paru d'abord en hollandais : *De Beghinselen des Waterwichts*, Leyde, 1586, in-4. — Snell l'a traduit en latin (Leyde, 1608) et a rendu *Waterwicht* par *hydrostatice*. — Les œuvres de Stevin ont été traduites en français par Albert Girard (Leyde, 1634). C'est la traduction que nous donnons, d'après Thurot. — J. G.

Stevin démontre « qu'un corps solide multigrave à l'eau submerge jusqu'au fond (*théor.* III) »; « qu'un corps solide parigrave à l'eau se tient dans icelle en telle disposition et lieu qu'on voudra (*théor.* IV) »; « qu'un corps solide minugrave à l'eau où il gît, est équipondérant à l'eau de laquelle il occupe le lieu (*théor.* V) »; « *que tout corps solide est plus léger dans l'eau qu'en l'air, de la pesanteur de l'eau égale en grandeur à iceluy* ».

Puis il établit la proposition suivante.

« Proposition X. — Sur le fond de l'eau, parallèle à l'horizon, repose un poids, égal à la pesanteur de l'eau, qui est égal à la colonne dont la base est le fond susdit, et la hauteur, la perpendicle sur l'horizon entre le fond et la fleur de l'eau. »

Stevin [1] détermine la pression de l'eau sur les parois verticales ou inclinées, « en divisant leur surface en plusieurs petites parties par des lignes horizontales », et il fait voir que chaque partie est plus pressée que si elle était horizontale et à la hauteur de son bord supérieur, mais qu'en même temps elle est moins pressée que si elle était placée horizontalement à la hauteur de son bord inférieur. D'où, en diminuant la largeur des parties, et augmentant leur nombre à l'infini, il prouve par la méthode des limites, que « la pression sur une paroi [verticale] ou inclinée est égale au poids d'une colonne dont la hauteur serait la moitié de la hauteur du vase ».

Pour donner un exemple de la pression exercée latéralement, Stevin rappelle « quel effort l'eau fait contre les portes des escluses... ; l'eau d'un costé n'ayant qu'un brin de largeur pressera autant à l'encontre que le Grand Océan de l'autre costé, moyennant que les eaux soyent de mesme hauteur ».

Enfin, il donne la raison « pourquoy un homme nageant au fond de l'eau ne meurt pour la grande quantité d'eau

1. Thurot, *Recherches*, etc., p. 48.

qui est au-dessus de luy ». C'est que « tout pressement qui blesse le corps pousse quelque partie du corps hors de son lieu naturel ». Or, dans le cas particulier, « s'il y avait quelque chose qui soit poussée hors de son lieu, il faudrait que cela rentrast en un autre lieu. Mais ce lieu n'est pas dehors à cause que l'eau presse de tout costé également (quant à la partie de dessous elle est un peu plus pressée que celle de dessus,... ce qui n'est d'aucune estime...). Ce lieu n'est pas aussi dedans le corps, car il n'y a rien de vuide non plus que dehors; d'où il s'ensuit que les parties s'entrepoussent également, pour ce que l'eau a une mesme raison à l'entour du corps. »

Le principe si clairement établi par Stevin resta pourtant ignoré ou méconnu jusqu'à Pascal.

Ni Galilée, ni Descartes, ni Boyle ne l'ont compris, M. Thurot le montre amplement.

On a une idée, continue-t-il (p. 71), de la confusion qui régnait en hydrostatique vers le milieu du XVII[e] siècle, quand on lit dans la compilation publiée par le P. Mersenne, en 1644, sous le titre de *Cogitata physico-mathematica* [1], la partie où il juxtapose, sans critique, sans discussion et sans examen, l'analyse du discours de Galilée sur les corps flottants et les énoncés de l'hydrostatique de Stevin [2]. Il croit que l'eau ne pesant pas dans l'eau, un homme qui est sous l'eau ne sent pas le poids de l'eau qui est au-dessus de lui, parce que cette eau ne pèse pas et par conséquent ne descend pas.

Pascal eut le mérite de faire luire le jour dans ces ténèbres et de mettre en lumière les vrais principes de l'hydrostatique. Il y fut conduit par la fameuse expérience de Torricelli.

L'expérience faite par Torricelli en 1643 eut un immense

1. Parisiis, 1644, in-4.
2. *Cogit. phys.*, p. 195-200, et p. 225 et suiv.

retentissement, et elle est d'une importance décisive dans l'histoire de la physique. Elle contribua plus que Galilée, Bacon et Descartes à renverser la science scolastique et l'emploi de l'autorité en matière de physique, en détruisant les idées qu'on se faisait presque universellement du vide. Elle montra par un exemple éclatant que, suivant l'expression de Pascal, « les expériences ont bien plus de force pour persuader que les raisonnements » et qu'elles « sont les seuls principes de la physique ». Enfin, non seulement elle changea les idées accréditées sur la pesanteur de l'air, et montra que les effets attribués à l'horreur de la nature pour le vide provenaient de cette pesanteur; mais encore elle amena Pascal à établir les vrais fondements de l'hydrostatique. (Thurot, *Recherches historiques sur le principe d'Archimède.*)

CHAPITRE VI

PASCAL

Le cadre de cet ouvrage ne comporte pas le récit complet de la vie de Pascal. On la trouvera en tête de la plupart des éditions de Pascal [1].

Rappelons seulement quelques dates et quelques traits essentiels.

Blaise Pascal est né à Clermont le 19 juin 1623. Son père, Étienne Pascal, était président de la cour des aides en Auvergne. Il eut deux autres enfants, deux filles, dignes sœurs de leur illustre frère : l'aînée, Gilberte, née en 1620, épousa en 1644 Florin Périer, conseiller à la cour des aides de Clermont, qui s'associa aux travaux de son beau-frère et exécuta sur ses indications la célèbre expérience du Puy de Dôme. Elle mourut à Paris en 1687. Elle écrivit la vie de son frère. Cette vie parut pour la première fois dans l'édition des *Pensées* donnée à Amsterdam en 1687. Sa fille Marguerite et son fils Étienne y ont ajouté divers appendices. La seconde sœur de Blaise Pascal, Jacqueline, née en 1625, mourut à l'âge de trente-six ans, en 1661, religieuse de Port-Royal.

C'est à la jeunesse de Pascal que se rapportent tous ses travaux de mathématiques et de physique. Il avait seize ans quand il composait son *Traité des sections coniques*, dix-huit

1. Consulter notamment la *Vie de Pascal* par sa sœur, Mme Périer ; et aussi le *Recueil de plusieurs pièces pour servir à l'histoire de Port-Royal*, désigné habituellement sous le nom de *Recueil d'Utrecht*, 1 vol. in-12. Utrecht, 1740. — J. G.

quand il imaginait et faisait construire la célèbre machine arithmétique, vingt-trois quand il entreprit en 1646 ses expériences sur le vide. Les deux traités de l'*Équilibre des liqueurs* et de la *Pesanteur de la masse de l'air* furent écrits avant 1652, on ne sait au juste à quelle époque; mais ils ne furent publiés qu'un an après sa mort en 1663 [1], par les soins de sa sœur et de son beau-frère. Les dix dernières années de sa vie furent exclusivement consacrées à la philosophie et à la religion. Il mourut le 19 août 1662, moins d'un an après sa sœur Jacqueline, dans les sentiments de la plus profonde piété et de la foi la plus vive, après avoir donné des exemples de charité, trop peu remarqués par ses biographes, et qui font penser à saint Vincent de Paul [2]. Il fut enterré dans l'église de Saint-Étienne du Mont, sa paroisse, derrière le maître-autel. L'emplacement de la maison où il mourut est indiqué par une plaque de marbre à l'entrée de la rue Rollin, tout près de la rue Monge.

« Sa vie, dit M. Valson [3], fut partagée et comme morcelée entre les sciences pour lesquelles la nature l'avait si heureusement doué, la philosophie dont l'étude absorba de bonne heure toutes ses facultés, et les querelles religieuses où l'on doit regretter à tant d'égards qu'il se soit trouvé mêlé. »

C'est à cette triple préoccupation que nous devons ses écrits scientifiques : les *Nouvelles expériences touchant le vide*, le *Traité de l'équilibre des liqueurs*, celui *de la Pesanteur de la masse de*

1. *Traités de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*, contenant l'explication des causes de divers effets de la nature, qui n'avaient point été bien connus jusqu'ici, particulièrement de ceux que l'on avait attribués à l'horreur du Vuide; par M. Pascal, à Paris, chez Guillaume Desprez. 1663. 1 vol. in-12, avec privilège du Roy. — J. G.

2. Il disait à sa sœur sur son lit de mort : « Puisque je n'avais pas de bien pour leur en donner [aux pauvres], je devais leur avoir donné mon temps et ma peine; c'est à quoi j'ai failli; et si les médecins disent vrai, et si Dieu me permet que je me relève de cette maladie, je suis résolu de n'avoir point d'autre emploi ni point d'autre occupation tout le reste de ma vie que le service des pauvres ». Ce sont les sentiments dans lesquels Dieu l'a pris. — J. G.

3. VALSON, *les Savants illustres du* XVIe *et du* XVIIe *siècle*. Paris, 1880, 2 vol. in-12, t. II, p. 37. — Nous ne saurions trop recommander la lecture de cet ouvrage excellent et trop peu connu. — J. G.

l'air, diverses œuvres mathématiques; puis le livre des *Pensées* et celui des *Provinciales*.

Nous reproduisons ici les passages les plus remarquables de ses écrits de physique. On y remarquera, comme le dit Mme Périer dans la préface du volume publié en 1663, « une adresse à mettre les choses dans leur jour qui n'est pas commune et on reconnaîtra facilement que cette clarté extraordinaire qui paraît dans ces écrits, vient de ce qu'il concevait les choses avec une netteté qui lui était propre »

La clarté et la vigueur de l'exposition n'y sont pas moins remarquables en effet que dans les *Pensées* ou les *Provinciales*. On y trouve enfin, notamment dans la polémique que soutint Pascal et dans les expériences qu'il imagina au sujet de la véritable interprétation de l'expérience de Torricelli, le premier exemple de cette critique scientifique et de cette méthode rigoureuse qui ont porté si haut chez nous les noms des Lavoisier, des H. Sainte-Claire Deville, des Claude Bernard, des Pasteur.

Voici, au surplus, comment M. Jos. Bertrand, dans un article récent du *Journal des Savants* [1], apprécie Pascal physicien :

« Le rôle de Pascal dans l'hydrostatique est double : il a composé un traité admirable sur l'équilibre des liqueurs et la pesanteur de la masse de l'air, contenant l'explication de divers effets de la nature qui n'avaient pas été connus jusqu'à lui, particulièrement de ceux qu'on avait attribués à l'horreur du vide. Dans ce livre excellent, publié après la mort de l'auteur, aucun raisonnement n'est douteux, aucune expérience n'est contestée; les physiciens, aujourd'hui comme en 1663, peuvent adopter sans y faire de corrections les idées et le langage de Pascal.... Pascal, dit-il ailleurs, a étudié un seul point de la science, s'est proposé une question très importante et très nette; la solution qu'il en a donnée est définitive. »

1. *Journal des Savants*, octobre 1889.

C'est la célèbre expérience de Torricelli [1], en 1643, qui fut le point de départ des recherches de Pascal. Après l'avoir confirmée par les expériences de Rouen (1646) et par celle du Puy de Dôme (1648),

Il voulut, dit Thurot (*loc. cit.*, p. 72), faire comprendre comment le poids de la masse de l'air, agissant sur les corps qui y sont plongés, produit les effets qu'on avait attribués à l'horreur du vide, en faisant voir comment les corps qui sont dans l'eau sont pressés de toutes parts par le poids de l'eau qui est au-dessus, et en établissant un parallélisme exact entre les effets de la pesanteur de l'air et ceux de la pesanteur des liquides. Son traité de l'équilibre des liqueurs est donc l'introduction de son traité de la pesanteur de la masse de l'air, et a été rédigé dans le même temps, probablement en 1651....

Stevin avait déjà établi que la pression exercée en vertu de la pesanteur par les couches supérieures d'un liquide sur les couches inférieures, était transmise de bas en haut et latéralement, aussi bien que de haut en bas; et il avait évalué exactement la mesure de cette pression dans tous les cas. Seulement, il n'avait pas donné à ce fait l'expression la plus générale, et il semble n'avoir pas compris que c'était le principe de l'hydrostatique.

C'est précisément ce que fit Pascal; et c'est pour cela que le principe de la transmission des pressions, « fondement et raison de l'équilibre des liqueurs », dit Pascal, est justement appelé

1. *Evangelista Torricelli*, né à Faenza en 1608, mort à Florence en 1647. Il devint l'ami et le confident de Castelli, disciple préféré de Galilée, puis se lia avec Galilée lui-même, mais pendant quelques mois seulement à la fin de sa vie, en 1642; il lui succéda comme mathématicien du Grand-Duc et professeur de mathématiques à Florence. — On lui doit, outre l'expérience célèbre qui porte son nom, le principe désigné aussi par son nom relatif à l'écoulement de l'eau d'un vase. Il a étudié aussi le mouvement des projectiles et complété Galilée. — J. G.

principe de Pascal. Le premier aussi il a appliqué ce principe à la démonstration du théorème d'Archimède.

Nos citations ont été collationnées avec soin sur l'édition de 1664, simple réimpression de l'édition princeps de 1663.

Traité de l'équilibre des liqueurs.

Chap. I. — *Que les liqueurs pèsent suivant leur hauteur.*

Si on attache contre un mur plusieurs vaisseaux, l'un tel que celui de la première figure (fig. 3 à 7); l'autre

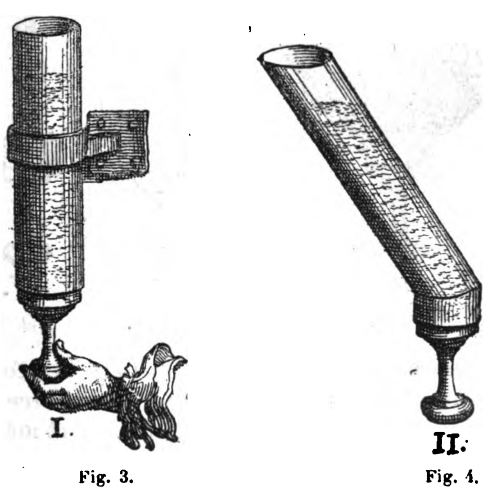


Fig. 3. Fig. 4.

penché, comme en la seconde; l'autre fort large, comme en la troisième; l'autre étroit, comme en la quatrième; l'autre qui ne soit qu'un petit tuyau qui aboutisse à un vaisseau large par en bas, mais qui n'ait presque point de hauteur, comme en la cinquième figure; et qu'on les remplisse tous d'eau jusqu'à une même hauteur, et qu'on fasse à tous des ouvertures pareilles par en bas, lesquelles on bouche pour retenir l'eau : l'expérience fait

8

voir qu'il faut une pareille force pour empêcher tous ces tampons de sortir, quoique l'eau soit en une quantité toute différente en tous ces différents vaisseaux, parce qu'elle est à une pareille hauteur en tous : et la mesure de cette force est le poids de l'eau contenue dans le pre-

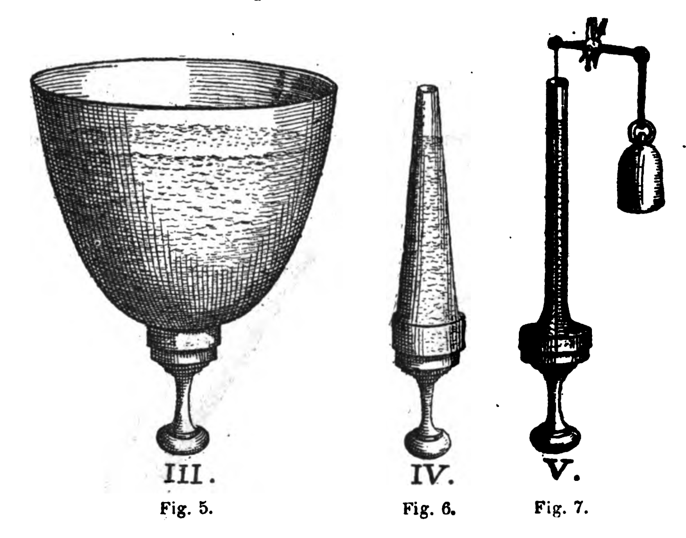


Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7.

mier vaisseau, qui est uniforme en tout son corps; car si cette eau pèse cent livres, il faudra une force de cent livres pour soutenir chacun des tampons, et même celui du vaisseau cinquième, quand l'eau qui y est ne pèserait pas une once.

Pour l'éprouver exactement, il faut boucher l'ouverture du cinquième vaisseau avec une pièce de bois ronde, enveloppée d'étoupe comme le piston d'une pompe, qui entre et coule dans cette ouverture avec tant de justesse, qu'il n'y tienne pas, et qu'il empêche néanmoins l'eau d'en sortir, et attacher un fil au milieu de ce piston, que l'on passe dans ce petit tuyau, pour l'attacher à un bras de balance, et pendre à l'autre bras un poids de cent

livres : on verra un parfait équilibre de ce poids de cent livres avec l'eau du petit tuyau qui pèse une once; et si peu qu'on diminue de ces cent livres, le poids de l'eau fera baisser le piston, et par conséquent baisser le bras de la balance où il est attaché, et hausser celui où pend le poids d'un peu moins de cent livres.

Si cette eau vient à se glacer [1], et que la glace ne prenne

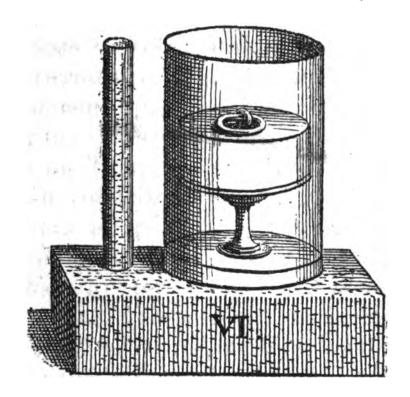


Fig. 8.

pas au vaisseau, comme en effet elle ne s'y attache pas d'ordinaire, il ne faudra à l'autre bras de la balance qu'une once pour tenir le poids de la glace en équilibre : mais si on approche du feu contre le vaisseau qui fasse fondre la glace, il faudra un poids de cent livres pour contre-balancer la pesanteur de cette glace fondue en eau, quoique nous ne la supposions que d'une once.

La même chose arriverait, quand ces ouvertures que l'on bouche seraient à côté, ou même en haut; et il serait même plus aisé de l'éprouver en cette sorte.

Il faut avoir un vaisseau clos de tous côtés (fig. 8), et y faire deux ouvertures en haut, une fort étroite, l'autre

1. C'est l'énoncé sous une forme saisissante de ce qu'on appelle ordinairement le *paradoxe hydrostatique.* — J. G.

plus large, et souder sur l'une et sur l'autre des tuyaux de la grosseur chacun de son ouverture; et on verra que si on met un piston au tuyau large, et qu'on verse de l'eau dans le tuyau menu, il faudra mettre sur le piston un grand poids, pour empêcher que le poids de l'eau du petit tuyau ne le pousse en haut : de la même sorte que dans les premiers exemples, il fallait une force de cent livres pour empêcher que le poids de l'eau ne les poussât en bas, parce que l'ouverture était en bas; et si elle était à côté, il faudrait une pareille force pour empêcher que le poids de l'eau ne repoussât le piston vers ce côté.

Et quand le tuyau plein d'eau serait cent fois plus large ou cent fois plus étroit, pourvu que l'eau y fût toujours à la même hauteur, il faudrait toujours un même poids pour contre-peser l'eau, et si peu qu'on diminue le poids, l'eau baissera, et fera monter le poids diminué.

Mais si on versait de l'eau dans le tuyau à une hauteur double, il faudrait un poids double sur le piston pour contre-peser l'eau; et de même si on faisait l'ouverture où est le piston, double de ce qu'elle est, il faudrait doubler la force nécessaire pour soutenir le piston double : d'où l'on voit que la force nécessaire pour empêcher l'eau de couler par une ouverture, est proportionnée à la hauteur de l'eau, et non pas à sa largeur; et que la mesure de cette force est toujours le poids de toute l'eau qui serait contenue dans une colonne de la hauteur de l'eau, et de la grosseur de l'ouverture.

Ce que j'ai dit de l'eau se doit entendre de toute autre sorte de liqueurs.

Chap. II. — *Pourquoi les liqueurs pèsent selon leur hauteur.*

On voit, par tous ces exemples, qu'un petit filet d'eau tient un grand poids en équilibre : il reste à montrer quelle est la cause de cette multiplication de force; nous l'allons faire par l'expérience qui suit.

Si un vaisseau plein d'eau (fig. 9), clos de toutes parts, a deux ouvertures, l'une centuple de l'autre : en mettant à chacune un piston qui lui soit juste, un homme poussant le petit piston égalera la force de cent hommes, qui pousseront celui qui est cent fois plus large, et en surmontera quatre-vingt-dix-neuf.

Et quelque proportion qu'aient ces ouvertures, si les

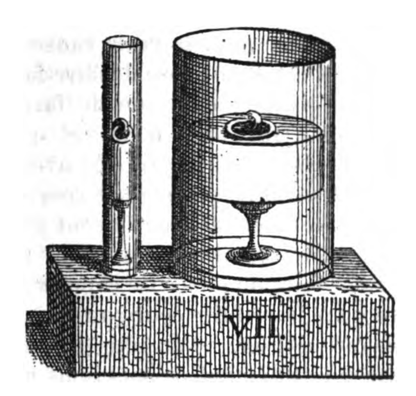


Fig. 9.

forces qu'on mettra sur les pistons sont comme les ouvertures, elles seront en équilibre. D'où il paraît qu'un vaisseau plein d'eau est un nouveau principe de mécanique, et une machine nouvelle pour multiplier les forces à tel degré qu'on voudra, puisqu'un homme, par ce moyen, pourra enlever tel fardeau qu'on lui proposera.

Et l'on doit admirer qu'il se rencontre en cette machine nouvelle cet ordre constant qui se trouve en toutes les anciennes, savoir le levier, le tour, la vis sans fin, etc., qui est, que le chemin est augmenté en même proportion que la force. Car il est visible que, comme une de ces ouvertures est centuple de l'autre, si l'homme qui pousse le petit piston, l'enfonçait d'un pouce, il ne repousserait l'autre que de la centième partie seulement; car comme

cette impulsion se fait à cause de la continuité de l'eau, qui communique de l'un des pistons à l'autre, et qui fait que l'un ne peut se mouvoir sans pousser l'autre; il est visible que quand le petit piston s'est mû d'un pouce, l'eau qu'il a poussée poussant l'autre piston, comme elle trouve son ouverture cent fois plus large, elle n'y occupe que la centième partie de la hauteur : de sorte que le chemin est au chemin, comme la force à la force. Ce que l'on peut prendre même pour la vraie cause de cet effet, étant clair, que c'est la même chose de faire faire un pouce de chemin à cent livres d'eau, que de faire faire cent pouces de chemin à une livre d'eau; et qu'ainsi, lorsqu'une livre d'eau est tellement ajustée avec cent livres d'eau, que les cent livres ne puissent se remuer un pouce, qu'elles ne fassent remuer la livre de cent pouces, il faut qu'elles demeurent en équilibre, une livre ayant autant de force pour faire faire un pouce de chemin à cent livres, que cent livres pour faire faire cent pouces à une livre.

On peut encore ajouter, pour plus grand éclaircissement, que l'eau est également pressée sous ces deux pistons; car si l'un a cent fois plus de poids que l'autre, aussi en revanche il touche cent fois plus de parties; et ainsi chacun l'est également : donc toutes doivent être en repos, parce qu'il n'y a pas plus de raison pourquoi l'une cède que l'autre. De sorte que si un vaisseau plein d'eau n'a qu'une seule ouverture large d'un pouce, par exemple, où l'on mette un piston chargé d'un poids d'une livre, ce poids fait effort contre toutes les parties du vaisseau généralement, à cause de la continuité et de la fluidité de l'eau : mais pour déterminer combien chaque partie souffre, en voici la règle. Chaque partie large d'un pouce, comme l'ouverture, souffre autant que si elle était poussée par le poids d'une livre (sans compter le poids de l'eau dont je ne parle pas ici, car je ne parle que du poids du piston), parce que le poids d'une livre presse le piston qui est à l'ouverture, et chaque portion du vaisseau

plus ou moins grande, souffre précisément plus ou moins à proportion de sa grandeur, soit que cette portion soit vis-à-vis de l'ouverture, ou à côté, loin ou près; car la continuité et la fluidité de l'eau rendent toutes ces choses-là égales et indifférentes : de sorte qu'il faut que la matière dont le vaisseau est fait, ait assez de résistance en toutes ses parties pour soutenir tous ces efforts : si sa résistance est moindre en quelqu'une, elle crève; si elle est plus grande, il en fournit ce qui est nécessaire, et le reste demeure inutile en cette occasion : tellement que si on fait une ouverture nouvelle à ce vaisseau, il faudra, pour arrêter l'eau qui en jaillirait, une force égale à la résistance que cette partie devait avoir, c'est-à-dire une force qui soit à celle d'une livre, comme cette dernière ouverture est à la première.

Voici encore une preuve qui ne pourra être entendue que par les seuls géomètres, et peut être passée par les autres.

Je prends pour principe, que jamais un corps ne se meut par son poids, sans que son centre de gravité descende. D'où je prouve que les deux pistons figurés en la figure 9, sont en équilibre en cette sorte; car leur centre de gravité commun est au point qui divise la ligne, qui joint leurs centres de gravité particuliers, en la proportion réciproque de leurs poids; qu'ils se meuvent maintenant, s'il est possible : donc leurs chemins seront entre eux comme leurs poids réciproquement, comme nous avons fait voir : or, si on prend leur centre de gravité commun en cette seconde situation, on le trouvera précisément au même endroit que la première fois; car il se trouvera toujours au point qui divise la ligne, qui joint leurs centres de gravité particuliers, en la proportion [réciproque] de leurs poids; donc, à cause du parallélisme des lignes de leurs chemins, il se trouvera en l'intersection des deux lignes qui joignent les centres de gravité dans les deux situations : donc le centre de gravité commun

sera au même point qu'auparavant : donc les deux pistons, considérés comme un seul corps, se sont mus, sans que le centre de gravité commun soit descendu; ce qui est contre le principe : donc ils ne peuvent se mouvoir : donc ils seront en repos, c'est-à-dire en équilibre; ce qu'il fallait démontrer.

J'ai démontré par cette méthode, dans un petit Traité de Mécanique, la raison de toutes les multiplications de forces qui se trouvent en tous les autres instruments de mécanique qu'on a jusqu'à présent inventés. Car je fais voir en tous, que les poids inégaux qui se trouvent en équilibre par l'avantage des machines, sont tellement disposés par la construction des machines, que leur centre de gravité commun ne saurait jamais descendre, quelque situation qu'ils prissent : d'où il s'ensuit qu'ils doivent demeurer en repos, c'est-à-dire en équilibre.

Prenons donc pour très véritable, qu'un vaisseau plein d'eau ayant des ouvertures et des forces à ces ouvertures qui leur soient proportionnées, elles sont en équilibre; et c'est le fondement et la raison de l'équilibre des liqueurs, dont nous allons donner plusieurs exemples.

Cette machine de mécanique pour multiplier les forces étant bien entendue, fait voir la raison pour laquelle les liqueurs pèsent suivant leur hauteur, et non pas suivant leur largeur, dans tous les effets que nous avons rapportés.

Car il est visible qu'en la figure 8, l'eau d'un petit tuyau contre-pèse un piston chargé de cent livres, parce que le vaisseau du fond est lui-même un vaisseau plein d'eau, ayant deux ouvertures, à l'une desquelles est le piston large, et à l'autre l'eau du tuyau qui est proprement un piston pesant de lui-même, qui doit contre-peser l'autre, si leurs poids sont entre eux comme leurs ouvertures.

Aussi, en la figure 7, l'eau du tuyau menu est en équilibre avec un poids de cent livres, parce que le vaisseau

du fond qui est large, et peu haut, est un vaisseau clos de toutes parts, plein d'eau, ayant deux ouvertures, l'une en bas, large, où est le piston; l'autre en haut, menue, où est le petit tuyau, dont l'eau est proprement un piston pesant de lui-même, et contre-pesant l'autre, à cause de la proportion des poids aux ouvertures; car il n'importe pas si ces ouvertures sont vis-à-vis ou non, comme il a été dit.

Où l'on voit que l'eau de ces tuyaux ne fait autre chose que ce que feraient des pistons de cuivre également pesants; puisqu'un piston de cuivre pesant une once, serait aussi bien en équilibre avec le poids de cent livres, comme le petit filet d'eau pesant une once : de sorte que la cause de l'équilibre d'un petit poids avec un plus grand, qui paraît en tous ces exemples, n'est pas en ce que ces corps qui pèsent si peu, et qui en contre-pèsent de bien plus pesants, sont d'une matière liquide; car cela n'est pas commun à tous les exemples, puisque ceux où de petits pistons de cuivre en contre-pèsent de si pesants, montrent la même chose; mais en ce que la matière qui s'étend dans le fond des vaisseaux depuis une ouverture jusqu'à l'autre, est liquide; car cela est commun à tous, et c'est la véritable cause de cette multiplication.

Aussi dans l'exemple de la figure 7, si l'eau qui est dans le petit tuyau se glaçait, et que celle qui est dans le vaisseau large du fond demeurât liquide, il faudrait cent livres pour soutenir le poids de cette glace; mais si l'eau qui est dans le fond se glace, soit que l'autre se gèle ou demeure liquide, il ne faut qu'une once pour la contre-peser.

D'où il paraît bien clairement que c'est la liquidité du corps qui communique d'une des ouvertures à l'autre, qui cause cette multiplication de forces, parce que le fondement en est, comme nous avons déjà dit, qu'un vaisseau plein d'eau est une machine de mécanique pour multiplier les forces.

Dans le chapitre IV, Pascal montre que l'eau presse les corps qu'elle touche perpendiculairement à leur direction et que cette pression est proportionnelle à la hauteur de l'eau au-dessus de la surface pressée; puis il continue.

CHAP. V. — *Des corps qui sont tout enfoncés dans l'eau.*

Nous voyons par là que l'eau pousse en haut les corps qu'elle touche par-dessous; qu'elle pousse en bas ceux qu'elle touche par-dessus; et qu'elle pousse de côté ceux qu'elle touche par le côté opposé : d'où il est aisé de conclure que quand un corps est tout dans l'eau, comme l'eau le touche par-dessus, par-dessous et par tous les côtés, elle fait effort pour le pousser en haut, en bas et vers tous les côtés : mais comme sa hauteur est la mesure de la force qu'elle a dans toutes ces impressions, on verra bien aisément lequel de tous ces efforts doit prévaloir.

Car il paraît d'abord que comme elle a une pareille hauteur sur toutes les faces des côtés, elle les poussera également; et partant ce corps ne recevra aucune impression vers aucun côté, non plus qu'une girouette entre deux vents égaux. Mais comme l'eau a plus de hauteur sur la face d'en bas que sur celle d'en haut, il est visible qu'elle le poussera plus en haut qu'en bas : comme la différence de ces hauteurs de l'eau est la hauteur du corps même, il est aisé d'entendre que l'eau le pousse plus en haut qu'en bas, avec une force égale au poids d'un volume d'eau pareil à ce corps.

De sorte qu'un corps qui est dans l'eau y est porté de la même sorte, que s'il était dans un bassin de balance, dont l'autre fût chargé d'un volume d'eau égal au sien.

D'où il paraît que s'il est de cuivre ou d'une autre matière qui pèse plus que l'eau en pareil volume, il tombe; car son poids l'emporte sur celui qui le contrebalance.

S'il est de bois, ou d'une autre matière plus légère que l'eau en pareil volume, il monte avec toute la force dont le poids de l'eau le surpasse.

Et s'il pèse également, il ne descend ni ne monte, comme la cire qui se tient à peu près dans l'eau au lieu où on la met.

De là vient que le seau d'un puits n'est pas difficile à hausser tant qu'il est dans l'eau, et qu'on ne sent son poids que quand il commence à en sortir, de même qu'un seau plein de cire ne serait non plus difficile à hausser étant dans l'eau. Ce n'est pas que l'eau aussi bien que la cire ne pèsent autant dans l'eau que dehors; mais c'est qu'étant dans l'eau, ils ont un contrepoids qu'ils n'ont plus quand ils en sont tirés : de même qu'un bassin de balance chargé de cent livres n'est pas difficile à hausser, si l'autre l'est également.

De là vient que quand du cuivre est dans l'eau, on le sent moins pesant précisément du poids d'un volume d'eau égal au sien : de sorte que s'il pèse neuf livres en l'air, il ne pèse plus que huit livres dans l'eau; parce que l'eau, en pareil volume qui le contre-balance, pèse une livre; et dans l'eau de la mer il pèse moins, parce que l'eau de le mer pèse plus, à peu près d'une quarante-cinquième partie.

Par la même raison, deux corps, l'un de cuivre, l'autre de plomb, étant également pesants, et par conséquent de différents volumes, puisqu'il faut plus de cuivre pour faire la même pesanteur, on les trouvera en équilibre, en les mettant chacun dans un bassin de balance : mais si on met cette balance dans l'eau, ils ne sont plus en équilibre; car chacun étant contre-pesé par un volume d'eau égal au sien, le volume de cuivre étant plus grand que celui de plomb, il y a un plus grand contrepoids; et partant le poids du plomb est le maître.

Ainsi deux poids de différente matière étant ajustés dans un parfait équilibre, de la dernière justesse où les

hommes peuvent arriver, s'ils sont en équilibre quand l'air est fort sec, ils ne le sont plus quand l'air est humide.

C'est par le même principe que, quand un homme est dans l'eau, tant s'en faut que le poids de l'eau le pousse en bas, qu'au contraire elle le pousse en haut : mais il pèse plus qu'elle; et c'est pourquoi il ne laisse pas de tomber, mais avec bien moins de violence qu'en l'air, parce qu'il est contre-pesé par un volume d'eau pareil au sien, qui pèse presque autant que lui; et s'il pesait autant, il nagerait. Aussi en donnant un coup à terre, ou faisant le moindre effort contre l'eau, il s'élève et nage : et dans les bains d'eau bourbeuse, un homme ne saurait enfoncer, et si on l'enfonce, il remonte de lui-même.

Par la même cause, quand on se baigne dans une cuve, on n'a point de peine à hausser le bras, tant qu'il est dans l'eau; mais quand on le sort de l'eau, on sent qu'il pèse beaucoup, à cause qu'il n'a plus le contre-poids d'un volume d'eau pareil au sien, qu'il avait étant dans l'eau.

Enfin, les corps qui nagent sur l'eau, pèsent précisément autant que l'eau dont ils occupent la place; car l'eau les touchant par-dessous, et non par-dessus, les pousse seulement en haut.

Et c'est pourquoi une platine de plomb étant mise en figure convexe, elle nage, parce qu'elle occupe une grande place dans l'eau par cette figure; au lieu que si elle était massive, elle n'occuperait jamais dans l'eau que la place d'un volume d'eau égal au volume de sa matière, qui ne suffirait pas pour la contre-peser.

Voilà pour la première fois une démonstration directe du principe d'Archimède, tirée des propriétés mêmes des fluides. Clairaut a donné plus tard à cette démonstration une forme plus mathématique; et enfin d'Alembert [1] et Laplace [2] ont

1. *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides*, art. 27. Paris, 1744.
2. *Exposition du système du monde*, liv. III, chap. IV.

donné la démonstration dite par la solidification, qui a passé dans les ouvrages élémentaires. Il nous paraît fâcheux qu'on n'y donne pas habituellement la démonstration de Pascal, bien autrement directe et satisfaisante.

Voici maintenant l'histoire des expériences du vide. Nous l'empruntons à la préface mise par Périer à la première édition des deux traités de son beau-frère, en 1663.

Histoire des expériences du vuide.

Galilée est celuy qui a remarqué le premier que les pompes aspirantes ne pouvaient élever l'eau plus haut que 32 ou 33 pieds, et que le reste du tuyau s'il estait plus haut demeurait apparemment vuide. Il en avait seulement tiré cette conséquence que la nature n'a horreur du vuide que jusqu'à un certain point, et que l'effort qu'elle fait pour l'éviter est finy, et peut être surmonté, sans se détromper encore de la fausseté du principe même. Ensuite en l'an 1643, Toricelli, mathématicien du duc de Florence, et successeur de Galilée, trouva qu'un tuyau de verre de quatre pieds ouvert seulement par un bout et fermé par l'autre, estant remply de vif argent, l'ouverture en étant bouchée avec le doigt ou autrement, et le tuyau disposé perpendiculairement à l'horizon, l'ouverture bouchée estant vers le bas, et plongée deux ou trois doigts dans d'autre vif argent contenu en un vaisseau moitié plein de vif argent, et l'autre moitié d'eau; si on le débouche (l'ouverture demeurant enfoncée dans le vif argent du vaisseau), le vif argent du tuyau descend en partie, laissant au haut du tuyau un espace vuide en apparence, le bas du mesme tuyau demeurant plein de vif argent jusqu'à une certaine hauteur : et si on hausse un peu le tuyau, jusqu'à ce que son ouverture qui trempait auparavant dans le vif argent du vaisseau sortant de ce vif argent arrive à la région de l'eau, le vif argent du tuyau monte jusqu'en haut avec l'eau, et ces deux

liqueurs se brouillent dans le tuyau, mais enfin tout le vif argent tombe, et le tuyau se trouve tout plein d'eau.

C'est là la première expérience qui a été faite sur cette matière, qui est devenue depuis si célèbre par les suites qu'elle a eues, et que l'on a toujours appelée l'expérience du vuide.

Ce fut le R. P. Mersenne [1], minime de Paris, qui en eut le premier la connaissance en France; on la luy manda d'Italie en l'année 1644, et ayant été par son moyen divulguée et rendue fameuse dans toute la France, avec l'admiration de tous les sçavans, Monsieur Pascal l'apprit de Monsieur Petit, Intendant des Fortifications, et très habile dans ces sortes de sciences, qui l'avait apprise du P. Mersenne mesme; et l'ayant faite ensemble à Rouen [2] en l'année 1646, de la mesme sorte qu'elle avait été faite en Italie, ils trouvèrent de point en point ce qui avait esté mandé de ce païs là.

Depuis, Monsieur Pascal ayant réitéré plusieurs fois cette mesme expérience, et s'en estant entièrement asseuré, il en tira plusieurs conséquences pour la preuve desquelles il fit plusieurs nouvelles expériences en présence des personnes les plus considérables de la ville de Rouen où il estait alors, Monsieur son père y faisant la fonction d'Intendant de Justice et des Finances. Et entr'autres il en fit une avec un tuyau de verre de quarante-six pieds de haut, ouvert par un bout, et scellé hermétiquement par l'autre, qu'il remplit d'eau ou plutost de

1. Voir plus haut, note de la page 14.

2. C'est sur la côte Sainte-Catherine que furent répétées les expériences de Torricelli, au commencement de 1646; les autres expériences de Pascal furent faites quelques mois après au faubourg Saint-Sever. — Consulter, sur l'histoire des expériences de Rouen et de la querelle qui en est née, des études de M. Bouquet, ancien professeur au lycée de Rouen, dans le « Bulletin de la commission des antiquités de la Seine-Inférieure, 1888 », et dans le *Journal de Rouen*, 20, 21, 23 et 24 juillet 1888. — Voir aussi : *Rouen aux principales époques de son histoire*, par Bouquet, 2e éd., p. 94-95. — J. G.

vin rouge pour estre plus visible; et l'ayant fait élever en cet estat en bouchant l'ouverture, et poser perpendiculairement à l'horison, l'ouverture en bas estant dans un vaisseau plein d'eau, et enfoncée dedans environ d'un pied; en la débouchant le vin du tuyau descendait jusqu'à la hauteur d'environ trente-deux pieds depuis la surface de l'eau du vaisseau, à laquelle il demeurait suspendu, laissant au haut du tuyau un espace de treize pieds vuide en apparence : et en inclinant le tuyau, comme alors la hauteur du vin du tuyau devenait moindre par cette inclinaison, le vin remontait jusqu'à ce qu'il vînt jusqu'à la hauteur de 32 pieds : et enfin en l'inclinant jusqu'à la hauteur de trente-deux pieds, il se remplissait entièrement....

Il fit encore un grand nombre de toutes sortes d'expériences avec des siphons, seringues, soufflets, et toutes sortes de tuyaux de toutes longueurs, grosseurs, et figures, chargés de différentes liqueurs comme vif-argent, eau, vin, huile, etc.

Il les fit imprimer en l'année 1647, et en fit un petit livret qu'il envoya par toute la France, et ensuite dans les pays étrangers, comme en Suède, en Hollande, en Pologne, en Allemagne, en Italie, et de tous les costés, ce qui rendit ces expériences célèbres parmi tous les sçavans de l'Europe.

Cette mesme année 1647, Monsieur Pascal fut averty d'une pensée qu'avait eüe Toricelli que l'air estait pesant, et que sa pesanteur pouvait être la cause de tous les effets qu'on avait jusqu'alors attribués à l'horreur du vuide. Il trouva cette pensée tout à fait belle; mais comme ce n'estoit qu'une simple conjecture et dont on n'avait aucune preuve; pour en connoistre ou la vérité ou la fausseté, il fit plusieurs expériences.

La plus célèbre fut celle du Puy de Dôme. Pascal la décrit ainsi dans sa lettre du 15 novembre 1647, à son beau-frère Périer, qui habitait Clermont :

Monsieur,

Je n'interromprais pas le travail continuel où vos emplois vous engagent, pour vous entretenir de méditations physiques, si je ne sçavais qu'elles serviront à vous délasser en vos heures de relâche, et qu'au lieu que d'autres en seraient embarrassés, vous en aurez du divertissement. J'en fais d'autant moins de difficulté, que je sais le plaisir que vous recevez en cette sorte d'entretien. Celuy-cy ne sera qu'une continuation de ceux que nous avons eus ensemble touchant le vuide. Vous savez quel sentiment les philosophes ont eu sur ce sujet : tous ont tenu pour maxime, que la nature abhorre le vuide; et presque tous, passant plus avant, ont soutenu qu'elle ne peut l'admettre, et qu'elle se détruisait elle-même plutôt que de le souffrir. Ainsi les opinions ont été divisées; les uns se sont contentés de dire qu'elle l'abhorrait seulement, les autres ont maintenu qu'elle ne le pouvait souffrir. J'ai travaillé, dans mon Abrégé du Traité du vuide, à détruire cette dernière opinion, et je crois que les expériences que j'y ai rapportées suffisent pour faire voir manifestement que la nature peut souffrir et souffre en effet un espace, si grand que l'on voudra, vuide de toutes les matières qui sont en notre connoissance et qui tombent sous nos sens. Je travaille maintenant à examiner la vérité de la première; savoir, que la nature abhorre le vide, et à chercher des expériences qui fassent voir si les effets que l'on attribue à l'horreur du vide, doivent être véritablement attribués à cette horreur du vide, ou s'ils le doivent être à la pesanteur et pression de l'air; car, pour vous ouvrir franchement ma pensée, j'ai peine à croire que la nature, qui n'est point animée, ni sensible, soit susceptible d'horreur, puisque les passions présupposent une âme capable de les ressentir, et j'incline bien plus à imputer tous ces effets à la pesanteur et pression de l'air, parce que je ne les considère que comme des cas particuliers d'une pro-

position universelle de l'Équilibre des Liqueurs, qui doit faire la plus grande partie du Traité que j'ay promis. Ce n'est pas que je n'eusse ces mêmes pensées lors de la production de mon Abrégé, et toutefois, faute d'expériences convaincantes, je n'osai pas alors (et je n'ose pas encore) me départir de la maxime de l'horreur du vuide, et je l'ai mesme employée pour maxime dans mon Abrégé : n'ayant alors d'autre dessein que de combattre l'opinion de ceux qui soutiennent que le vuide est absolument impossible, et que la nature souffrirait plutôt sa destruction que le moindre espace vuide. En effet, je n'estime pas qu'il nous soit permis de nous départir légèrement des maximes que nous tenons de l'antiquité, si nous n'y sommes obligés par des preuves indubitables et invincibles : mais, en ce cas, je tiens que ce serait une extrême foiblesse d'en faire le moindre scrupule, et qu'enfin nous devons avoir plus de vénération pour les vérités évidentes, que d'obstination pour ces opinions reçues....

J'ai imaginé une expérience qui pourra seule suffire pour nous donner la lumière que nous cherchons, si elle peut être exécutée avec justesse. C'est de faire l'expérience ordinaire du vuide plusieurs fois en mesme jour, dans un mesme tuyau, avec le mesme vif-argent, tantôt en bas et tantôt au sommet d'une montagne, élevée pour le moins de cinq ou six cents toises, pour éprouver si la hauteur du vif-argent suspendu dans le tuyau se trouvera pareille ou différente dans ces deux situations. Vous voyez déjà, sans doute, que cette expérience est décisive de la question, et que, s'il arrive que la hauteur du vif-argent soit moindre au haut qu'au bas de la montagne (comme j'ay beaucoup de raisons pour le croire, quoique tous ceux qui ont médité sur cette matière soient contraires à ce sentiment), il s'ensuivra nécessairement que la pesanteur et pression de l'air est la seule cause de cette suspension du vif-argent, et non pas l'horreur du vuide, puisqu'il est bien certain qu'il y a beaucoup plus d'air qui pèse

sur le pied de la montagne, que non pas sur son sommet; au lieu qu'on ne saurait dire que la nature abhorre le vide au pied de la montagne plus que sur son sommet....

Votre très humble et très obéissant serviteur.

PASCAL.

M. Périer reçut cette lettre à Moulins, où il estait dans un emploi qui lui ôtoit la liberté de disposer de soi-même; de sorte que, quelque désir qu'il eût de faire promptement cette expérience, il ne le put néanmoins plus tôt qu'au mois de septembre 1648.

Copie de la lettre de M. Périer à M. Pascal le jeune, du 22 septembre 1648.

Monsieur,

Enfin j'ay fait l'expérience que vous avez si longtemps souhaitée. Je vous aurais plus tôt donné cette satisfaction; mais j'en ai été empesché, autant par les emplois que j'ay eus en Bourbonnois, qu'à cause que, depuis mon arrivée, les neiges ou les brouillards ont tellement couvert la montagne du Puy de Dôme, où je devais la faire, que, mesme en cette saison qui est ici la plus belle de l'année, j'ai eu peine de rencontrer un jour où l'on pût voir le sommet de cette montagne, qui se trouve d'ordinaire au dedans des nuées, et quelquefois au-dessus, quoiqu'au mesme temps il fasse beau dans la campagne : de sorte que je n'ay pu joindre ma commodité avec celle de la saison, avant le 19 de ce mois. Mais le bonheur avec lequel je la fis ce jour là m'a pleinement consolé du petit déplaisir que m'avaient donné tant de retardemens que je n'avais pu éviter.

Je vous en donne ici une ample et fidèle relation, où vous verrez la précision et les soins que j'y ay apportés, auxquels j'ay estimé à propos de joindre encore la pré-

sence de personnes aussi savantes qu'irréprochables, afin que la sincérité de leur témoignage ne laissât aucun doute de la certitude de l'expérience.

Copie de la relation de l'expérience faite par M. Périer.

La journée de samedi dernier, 19 de ce mois, fut fort inconstante; néanmoins, le temps paroissant assez beau sur les cinq heures du matin, et le sommet du Puy de Dôme se montrant à découvert, je me résolus d'y aller pour y faire l'expérience. Pour cet effet, j'en donnay avis à plusieurs personnes de condition de cette ville de Clermont, qui m'avaient prié de les avertir du jour que j'y irais, dont quelques-uns sont ecclésiastiques et les autres séculiers : entre les ecclésiastiques étaient le T. R. P. Bannier, l'un des pères minimes de cette ville, qui a été plusieurs fois correcteur (c'est-à-dire supérieur), et M. Mosnier, chanoine de l'église cathédrale de cette ville; et entre les séculiers, MM. La Ville et Begon, conseillers en la cour des aides, et M. La Porte, docteur en médecine, et la professant ici; toutes personnes très capables, non seulement en leurs charges, mais encore dans toutes les belles connoissances, avec lesquels je fus ravi d'exécuter cette belle partie. Nous fûmes donc ce jour-là tous ensemble sur les huit heures du matin dans le jardin des pères minimes, qui est presque le lieu le plus bas de la ville, où fut commencée l'expérience en cette sorte.

Premièrement, je versai dans un vaisseau seize livres de vif-argent, que j'avais rectifié durant les trois jours précédens; et ayant pris deux tuyaux de verre de pareille grosseur, et longs de quatre pieds chacun, scellés hermétiquement par un bout et ouverts par l'autre, je fis, en chacun d'iceux, l'expérience ordinaire du vuide dans ce mesme vaisseau, et ayant approché et joint les deux tuyaux l'un contre l'autre, sans les tirer hors de leur vaisseau, il se trouva que le vif-argent qui était resté en chacun d'eux

était à mesme niveau, et qu'il y en avait en chacun d'eux, au-dessus de la superficie de celui du vaisseau, vingt-six poulces, trois lignes et demie. Je refis cette expérience dans ce même lieu, dans les deux mêmes tuyaux, avec le même vif-argent et dans le même vaisseau deux autres fois, et il se trouva toujours que le vif-argent des deux tuyaux était à mesme niveau et en la mesme hauteur que la première fois.

Cela fait, j'arrestay à demeure l'un de ces deux tuyaux sur son vaisseau en expérience continuelle : je marquai au verre la hauteur du vif-argent, et, ayant laissé ce tuyau en sa mesme place, je priai le R. P. Chastin, l'un des religieux de la maison, homme aussi pieux que capable, et qui raisonne très bien en ces matières, de prendre la peine d'y observer, de moment en moment, pendant toute la journée, s'il y arriverait du changement. Et avec l'autre tuyau, et une partie de ce même vif-argent, je fus, avec tous ces messieurs, au haut du Puy de Dôme, élevé au-dessus des Minimes d'environ cinq cents toises, où, ayant fait les mesmes expériences de la mesme façon que je les avais faites aux Minimes, il se trouva qu'il ne resta plus dans ce tuyau que la hauteur de vingt-trois pouces deux lignes de vif-argent; au lieu qu'il s'en estait trouvé aux Minimes, dans ce même tuyau, la hauteur de vingt-six pouces trois lignes et demie, et qu'ainsi, entre les hauteurs du vif-argent de ces deux expériences, il y eut trois pouces une ligne et demie de différence : ce qui nous ravit tous d'admiration et d'étonnement, et nous surprit de telle sorte, que, pour notre satisfaction propre, nous voulûmes la répéter. C'est pourquoi je la fis encore cinq autres fois très exactement en divers endroits du sommet de la montagne, tantôt à couvert dans la petite chapelle qui y est, tantôt à découvert, tantôt à l'abri, tantôt au vent, tantôt en beau temps, tantôt pendant la pluie et les brouillards qui nous y venaient voir parfois, ayant à chaque fois purgé très soigneusement d'air le tuyau; et

il s'est toujours trouvé à toutes ces expériences la même hauteur de vif-argent de vingt-trois pouces deux lignes, qui font les trois pouces une ligne et demie de différence d'avec les vingt-six pouces trois lignes et demie qui s'étaient trouvés aux Minimes, ce qui nous satisfit pleinement.

Après, en descendant la montagne, je refis en chemin la mesme expérience, toujours avec le mesme tuyau, le mesme vif-argent et le mesme vaisseau, en un lieu appelé *Lafon de l'Arbre*, beaucoup au-dessus des Minimes, mais beaucoup plus au-dessous du sommet de la montagne ; et là je trouvai que la hauteur du vif-argent resté dans le tuyau était de vingt-cinq pouces. Je la refis une seconde fois en ce mesme lieu, et M. Mosnier, un des ci-devant nommés, eut la curiosité de la faire lui-mesme : il la fit donc aussi en ce même lieu, et il se trouva toujours la mesme hauteur de vingt-cinq pouces, qui est moindre que celle qui s'était trouvée aux Minimes, d'un pouce trois lignes et demie, et plus grande que celle que nous venions de trouver au haut du Puy de Dôme d'un pouce dix lignes, ce qui n'augmenta pas peu notre satisfaction, voyant la hauteur du vif-argent se diminuer suivant la hauteur des lieux.

Enfin, estant revenus aux Minimes, j'y trouvay le vaisseau que j'avais laissé en expérience continuelle, en la mesme hauteur où je l'avais laissé, de vingt-six pouces trois lignes et demie, à laquelle hauteur le R. P. Chastin, qui y étoit demeuré pour l'observation, nous rapporta n'être arrivé aucun changement pendant toute la journée, quoique le temps eût été fort inconstant, tantôt serein, tantôt pluvieux, tantôt plein de brouillards, et tantôt venteux.

J'y refis l'expérience avec le tuyau que j'avais porté au Puy de Dôme, et dans le vaisseau où était le tuyau en expérience continuelle ; je trouvai que le vif-argent était en mesme niveau dans ces deux tuyaux, et à la mesme hauteur de vingt-six pouces trois lignes et demie, comme il s'était trouvé le matin dans ce mesme tuyau, et comme

il était demeuré durant tout le jour dans le tuyau en expérience continuelle.

Je la répétai encore pour la dernière fois, non seulement dans le mesme tuyau où je l'avais faite sur le Puy de Dôme, mais encore avec le mesme vif-argent et dans le mesme vaisseau que j'y avais porté, et je trouvai toujours le vif-argent à la mesme hauteur de vingt-six pouces trois lignes et demie, qui s'y était trouvée le matin : ce qui acheva de nous confirmer dans la certitude de l'expérience.

Le lendemain, le T. R. P. de La Mare, prêtre de l'Oratoire et théologal de l'église cathédrale, qui avait été présent à ce qui s'était passé le matin du jour précédent dans le jardin des Minimes, et à qui j'avais rapporté ce qui était arrivé au Puy de Dôme, me proposa de faire la même expérience au pied et sur le haut de la plus haute des tours de Notre-Dame de Clermont, pour éprouver s'il y arriverait de la différence. Pour satisfaire à la curiosité d'un homme de si grand mérite, et qui a donné à toute la France des preuves de sa capacité, je fis le mesme jour l'expérience ordinaire du vide, en une maison particulière qui est au plus haut lieu de la ville, élevée par-dessus le jardin des Minimes de six ou sept toises, et à niveau du pied de la tour : nous y trouvâmes le vif-argent à la hauteur d'environ vingt-six pouces trois lignes, qui est moindre que celle qui s'était trouvée aux Minimes d'environ demi-ligne.

Ensuite, je la fis sur le haut de la mesme tour, élevé pardessus son pied de vingt toises, et par-dessus le jardin des Minimes d'environ vingt-six ou vingt-sept toises; j'y trouvay le vif-argent à la hauteur d'environ vingt-six pouces une ligne, qui est moindre que celle qui s'était trouvée au pied de la tour d'environ deux lignes, et que celle qui s'était trouvée aux Minimes d'environ deux lignes et demie....

Votre très humble et très affectionné serviteur.

PÉRIER.

Cette relation ayant éclairci toutes mes difficultés, je ne dissimule pas que j'en reçus beaucoup de satisfaction; et y ayant vu que la différence de vingt toises d'élévation faisait une différence de deux lignes à la hauteur du vif-argent, et que six à sept toises en faisoient environ demi-ligne, ce qu'il était facile d'éprouver en cette ville, je fis l'expérience ordinaire du vuide au haut et au bas de la tour Saint-Jacques de la Boucherie, haute de vingt-quatre à vingt-cinq toises : je trouvai plus de deux lignes de différence à la hauteur du vif-argent; et ensuite je la fis dans une maison particulière, haute de quatre-vingt-dix marches, où je trouvai très sensiblement demi-ligne de différence; ce qui se rapporte parfaitement au contenu en la relation de M. Périer.

Conséquences.

De cette expérience se tirent beaucoup de conséquences, comme :

Le moyen de connoître si deux lieux sont en même niveau, c'est-à-dire également distans du centre de la terre, ou lequel des deux est le plus élevé, si éloignés qu'ils soient l'un de l'autre, quand même ils seraient antipodes; ce qui serait comme impossible par tout autre moyen....

Et Pascal termine enfin :

Au lecteur.

Mon cher lecteur. Le consentement universel des peuples et la foule des philosophes concourent à l'établissement de ce principe, que la nature souffrirait plutôt sa destruction propre, que le moindre espace vide. Quelques esprits des plus élevés en ont pris un plus modéré : car encore qu'ils aient cru que la nature a de l'horreur pour le vide, ils ont néanmoins estimé que cette répugnance avait des limites,

et qu'elle pouvait être surmontée par quelque violence; mais il ne s'est encore trouvé personne qui ait avancé ce troisième : que la nature n'a aucune répugnance pour le vide, qu'elle ne fait aucun effort pour l'éviter, et qu'elle l'admet sans peine et sans résistance.

Les expériences que je vous ai données dans mon Abrégé détruisent, à mon jugement, le premier de ces principes; et je ne vois pas que le second puisse résister à celle que je vous donne maintenant; de sorte que je ne fais plus de difficulté de prendre ce troisième, que la nature n'a aucune répugnance pour le vide; qu'elle ne fait aucun effort pour l'éviter; que tous les effets qu'on a attribués à cette horreur procèdent de la pesanteur et pression de l'air; qu'elle en est la seule et véritable cause, et que, manque de la connoître, on avait inventé exprès cette horreur imaginaire du vide, pour en rendre raison. Ce n'est pas en cette seule rencontre que, quand la foiblesse des hommes n'a pu trouver les véritables causes, leur subtilité en a substitué d'imaginaires, qu'ils ont exprimées par des noms spécieux qui remplissent les oreilles et non pas l'esprit : c'est ainsi que l'on dit, que la sympathie et antipathie des corps naturels sont les causes efficientes et univoques de plusieurs effets, comme si des corps inanimés étaient capables de sympathie et antipathie; il en est de même de l'antipéristase, et de plusieurs autres causes chimériques, qui n'apportent qu'un vain soulagement à l'avidité qu'ont les hommes de connoître les vérités cachées, et qui, loin de les découvrir, ne servent qu'à couvrir l'ignorance de ceux qui les inventent, et à nourrir celle de leurs sectateurs.

Ce n'est pas toutefois sans regret, que je me dépars de ces opinions si généralement reçues; je ne le fais qu'en cédant à la force de la vérité qui m'y contraint. J'ai résisté à ces sentiments nouveaux, tant que j'ai eu quelque prétexte pour suivre les anciens; les maximes que j'ai employées en mon Abrégé le témoignent assez. Mais enfin,

l'évidence des expériences me force de quitter les opinions où le respect de l'antiquité m'avait retenu. Aussi je ne les ai quittées que peu à peu, et je ne m'en suis éloigné que par degrés : car du premier de ces trois principes, que la nature a pour le vide une horreur invincible, j'ai passé à ce second, qu'elle en a de l'horreur, mais non pas invincible; et de là je suis enfin arrivé à la croyance du troisième, que la nature n'a aucune horreur pour le vide.

Pascal développe ces faits dans le *Traité de la pesanteur de la masse de l'air* : il remarque en particulier qu'un ballon clos, mais incomplètement rempli, se gonfle à mesure qu'on s'élève. Il approche ainsi singulièrement de la relation entre le volume et la pression que Mariotte devait formuler quelques années plus tard. Il est donc bien probable que si Pascal ne s'était détourné si tôt des études de Physique, la loi de Mariotte se serait appelée la loi de Pascal. On verra plus loin par les citations de Mariotte combien celles-ci se lient aux écrits de Pascal et en semblent la suite toute naturelle.

Traité de la pesanteur de la masse de l'air.

CHAP. I. — *Que la masse de l'air a de la pesanteur; qu'elle presse par son poids tous les corps qu'elle enferme.*

On ne conteste plus aujourd'hui que l'air est pesant ; on sait qu'un ballon pèse plus enflé que désenflé; cela suffit pour le conclure; car s'il était léger, plus on en mettrait dans le ballon, plus le tout aurait de légèreté; car le tout en aurait davantage qu'une partie seulement : or, puisqu'au contraire plus on y en met, plus le tout est pesant, il s'ensuit que chaque partie est elle-même pesante, et partant que l'air est pesant.

Ceux qui en désireront de plus longues preuves n'ont qu'à les chercher dans les auteurs qui en ont traité exprès.

Si on objecte que l'air est léger quand il est pur, mais que celui qui nous environne n'est pas l'air pur, parce qu'il est mêlé de vapeurs et de corps grossiers, et que ce n'est qu'à cause de ces corps étrangers qu'il est pesant, je réponds, en un mot, que je ne connois point cet air pur, et qu'il serait peut-être difficile de le trouver; mais je ne parle, dans tout ce discours, que de l'air tel qu'il est dans l'état où nous le respirons, sans penser s'il est composé, ou non; et c'est ce corps-là, ou simple, ou composé, que j'appelle l'air et duquel je dis qu'il est pesant; ce qui ne peut être contredit; et c'est tout ce qui m'est nécessaire dans la suite.

Ce principe posé, je ne m'arrêterai qu'à en tirer quelques conséquences.

1. Puisque chaque partie de l'air est pesante, il s'ensuit que la masse entière de l'air, c'est-à-dire la sphère entière de l'air, est pesante; et comme la sphère de l'air n'est pas infinie en son étendue, qu'elle a des bornes, aussi la pesanteur de la masse de tout l'air n'est pas infinie.

2. Comme la masse de l'eau de la mer presse par son poids la partie de la terre qui lui sert de fond, et que si elle environnait toute la terre, au lieu qu'elle n'en couvre qu'une partie, elle presserait par son poids toute la surface de la terre : ainsi la masse de l'air couvrant toute la face de la terre, ce poids la presse en toutes les parties.

3. Comme le fond d'un seau où il y a de l'eau est plus pressé par le poids de l'eau, quand il est tout plein que quand il ne l'est qu'à demi, et qu'il l'est d'autant plus qu'il y a plus de hauteur d'eau : aussi les lieux élevés, comme les sommets des montagnes, ne sont pas si pressés par le poids de la masse de l'air, que les lieux profonds, comme les vallons; parce qu'il y a plus d'air au-dessus des vallons, qu'au-dessus des sommets des montagnes; car tout l'air qui est le long de la montagne pèse sur le vallon, et non pas sur le sommet; parce qu'il est au-dessus de l'un et au-dessous de l'autre.

4. Comme les corps qui sont dans l'eau sont pressés de toutes parts par le poids de l'eau qui est au-dessus, comme nous l'avons montré au *Traité de l'Équilibre des liqueurs*; ainsi les corps qui sont dans l'air sont pressés de tous côtés par le poids de la masse de l'air qui est au-dessus.

5. Comme les animaux qui sont dans l'eau n'en sentent pas le poids; ainsi nous ne sentons pas le poids de l'air, par la même raison : et comme on ne pourrait pas conclure que l'eau n'a point de poids, de ce qu'on ne le sent pas quand on y est enfoncé; ainsi on ne peut pas conclure que l'air n'a pas de pesanteur, de ce que nous ne la sentons pas. Nous avons fait voir la raison de cet effet dans l'*Équilibre des liqueurs.*

6. Comme il arriverait en un grand amas de laine, si on en avait assemblé de la hauteur de vingt ou trente toises, que cette masse se comprimerait elle-même par son propre poids, et que celle qui serait au fond serait bien plus comprimée que celle qui serait au milieu, ou près du haut, parce qu'elle serait pressée d'une plus grande quantité de laine : ainsi la masse de l'air, qui est un corps compressible et pesant, aussi bien que la laine, se comprime elle-même par son propre poids; et l'air qui est au bas, c'est-à-dire dans les lieux profonds, est bien plus comprimé que celui qui est plus haut, comme aux sommets des montagnes, parce qu'il est chargé d'une plus grande quantité d'air.

7. Comme il arriverait en cette masse de laine, que si on prenait une poignée de celle qui est dans le fond, dans l'état pressé où on la trouve, et qu'on la portât, en la tenant toujours pressée de la même sorte, au milieu de cette masse, elle s'élargirait d'elle-même, étant plus proche du haut, parce qu'elle aurait une moindre quantité de laine à supporter en ce lieu-là; ainsi si l'on portait de l'air, tel qu'il est ici-bas, et comprimé comme il y est, sur le sommet d'une montagne, par quelque artifice que ce soit, il devrait s'élargir lui-même, et devenir au même état que

celui qui l'environnerait sur cette montagne, parce qu'il seroit chargé de moins d'air en cet endroit-là qu'il n'était au bas : et, par conséquent, si on prenait un ballon à demi plein d'air seulement, et non pas tout enflé, comme ils le sont d'ordinaire, et qu'on le portât sur une montagne, il devrait arriver qu'il serait plus enflé au haut de la montagne, et qu'il devrait s'élargir à proportion de ce qu'il serait moins chargé; et la différence devrait en être visible, si la quantité d'air qui est le long de la montagne, et de laquelle il est déchargé, a un poids assez considérable pour causer un effet et une différence sensible.

Il y a une liaison si nécessaire de ces conséquences avec leur principe, que l'un ne peut être vrai, sans que les autres le soient également : et comme il est assuré que l'air qui s'étend depuis la terre jusqu'au haut de la sphère a de la pesanteur, tout ce que nous en avons conclu est également véritable.

Mais quelque certitude qu'on trouve en ces conclusions, il me semble qu'il n'y a personne qui, même en les recevant, ne souhaitât de voir cette dernière conséquence confirmée par l'expérience, parce qu'elle enferme, et toutes les autres, et son principe même; car il est certain que si on voyait un ballon tel que nous l'avons figuré, s'enfler à mesure qu'on l'élève, il n'y aurait aucun lieu de douter que cette enflure ne vînt de ce que l'air du ballon était plus pressé en bas qu'en haut, puisqu'il n'y a aucune autre chose qui pût causer qu'il s'enflât, vu même qu'il fait plus froid sur les montagnes que dans les vallons; et cette compression de l'air du ballon ne pourrait avoir d'autre cause que le poids de la masse de l'air; car on l'a pris tel qu'il était au bas, et sans le comprimer, puisque même le ballon était flasque et à demi plein seulement; et partant cela prouverait absolument que l'air est pesant; que la masse de l'air est pesante; qu'elle presse par son poids tous les corps qu'elle enferme; qu'elle presse plus les lieux bas que les lieux hauts; qu'elle se comprime elle-

même par son poids ; que l'air est plus comprimé en bas qu'en haut. Et comme dans la physique les expériences ont bien plus de force pour persuader que les raisonnements, je ne doute pas qu'on ne désirât de voir les uns confirmés par les autres.

Mais si l'on en faisait l'expérience, j'aurais cet avantage, qu'au cas qu'il n'arrivât aucune différence à l'enflure du ballon sur les plus hautes montagnes, cela ne détruirait pas ce que j'ai conclu ; parce que je pourrais dire qu'elles n'ont pas encore assez de hauteur pour causer une différence sensible : au lieu que s'il arrivait un changement extrêmement considérable, comme de la huitième ou neuvième partie, certainement elle serait toute convaincante pour moi ; et il ne pourrait plus rester aucun doute de la vérité de tout ce que j'ai établi.

Mais c'est trop différer ; il faut dire en un mot que l'épreuve en a été faite, et qu'elle a réussi en cette sorte.

Expérience faite en deux lieux élevés l'un au-dessus de l'autre, d'environ cinq cents toises.

Si l'on prend un ballon à demi plein d'air, flasque et mol, et qu'on le porte au bout d'un fil sur une montagne haute de cinq cents toises, il arrivera qu'à mesure qu'on montera, il s'enflera de lui-même, et quand il sera en haut, il sera tout plein et gonflé comme si on y avait soufflé de l'air de nouveau ; et en redescendant, il s'aplatira peu à peu par les mêmes degrés ; de sorte qu'étant arrivé au bas, il sera revenu à son premier état.

Cette expérience prouve tout ce que j'ai dit de la masse de l'air, avec une force toute convaincante : aussi était-il nécessaire de le bien établir, parce que c'est le fondement de tout ce discours.

Pascal examine ensuite les diverses conséquences de cette pesanteur de la masse de l'air.

Le dernier chapitre est ainsi intitulé :

CHAP. IX. — *Combien pèse la masse entière de tout l'air qui est au monde.*

Nous apprenons par ces expériences que l'air qui est sur le niveau de la mer pèse autant que l'eau, à la hauteur de 31 pieds deux poulces....

Et, par conséquent, qu'il faut considérer toute la masse de l'air, en l'état libre où elle est, de la même sorte que si elle eût été autrefois comme une masse d'eau de trente et un pieds de haut à l'entour de toute la terre, qui eût été raréfiée et dilatée extrêmement, et convertie en cet état où nous l'appelons air, auquel elle occupe, à la vérité, plus de place, mais auquel elle conserve précisément le même poids que l'eau à trente et un pieds de haut.

Et comme il n'y aurait rien de plus aisé que de supputer combien l'eau qui environnerait toute la terre à trente et un pieds de haut pèserait de livres, et qu'un enfant qui sait l'addition et la soustraction pourrait le faire, on trouverait, par le même moyen, combien tout l'air de la nature pèse de livres, puisque c'est la même chose; et si on en fait l'épreuve, on trouvera qu'il pèse à peu près huit millions de millions de millions de livres.

J'ai voulu avoir ce plaisir et j'en ai fait le compte en cette sorte.

J'ai supposé que le diamètre d'un cercle est à sa circonférence, comme sept à vingt-deux.

J'ai supposé que le diamètre d'une sphère étant multiplié par la circonférence de son grand cercle, le produit est le contenu de la superficie sphérique.

Nous savons qu'on a divisé le tour de la terre en trois cent soixante degrés. Cette division a été volontaire; car on l'eût divisée en plus ou moins si on eût voulu, aussi bien que les cercles célestes

On a trouvé que chacun de ces degrés contient cinquante mille toises.

Les lieues autour de Paris sont de deux mille cinq cents toises; et, par conséquent, il y a vingt lieues au degré : d'autres en comptent vingt-cinq; mais aussi ils ne mettent que deux mille toises à la lieue; ce qui revient à la même chose.

Chaque toise a six pieds.

Un pied cube d'eau pèse soixante-douze livres.

Cela posé, il est bien aisé de faire la supputation qu'on cherche.

Car puisque la terre a pour son grand cercle, ou pour sa circonférence 360 degrés,

Elle a par conséquent, de tour, 7 200 lieues.

Et par la proportion de la circonférence au diamètre, son diamètre aura 2 291 lieues.

Donc, en multipliant le diamètre de la terre par la circonférence de son grand cercle, on trouvera qu'elle a en toute sa superficie sphérique 16 495 200 lieues carrées.

C'est-à-dire 103 095 000 000 000 toises carrées.

C'est-à-dire 3 711 420 000 000 000 pieds carrés.

Et parce qu'un pied cube d'eau pèse 72 livres, il s'ensuit qu'un prisme d'eau d'un pied carré de base et de trente et un pieds de haut, pèse 2 232 livres.

Donc si la terre était couverte d'eau jusqu'à la hauteur de trente et un pieds, il y aurait autant de prismes d'eau de trente et un pieds de haut, qu'elle a de pieds carrés en toute sa surface. (Je sais bien que ce ne seraient pas des prismes, mais des secteurs de sphère; et je néglige exprès cette précision.)

Et partant elle porterait autant de 2 232 livres d'eau, qu'elle a de pieds carrés en toute sa surface.

Donc cette masse d'eau entière pèserait

8 283 889 440 000 000 000 livres.

Donc toute la masse entière de la sphère de l'air qui est au monde, pèse ce même poids de

8 283 889 440 000 000 000 livres.

C'est-à-dire huit millions de millions de millions, deux

cent quatre-vingt-trois mille huit cent quatre-vingt-neuf millions de millions, quatre cent quarante mille millions de livres.

Conclusion des deux précédens traités.

J'ai rapporté dans le traité précédent tous les effets généralement qu'on a pensé jusqu'ici que la nature produit pour éviter le vide, où j'ai fait voir qu'il est absolument faux qu'ils arrivent par cette raison imaginaire : et j'ai démontré, au contraire, que la pesanteur de la masse de l'air en est la véritable et unique cause, par des raisons et des expériences absolument convaincantes : de sorte qu'il est maintenant assuré qu'il n'arrive aucun effet dans toute la nature qu'elle produise pour éviter le vide.

Il ne sera pas difficile de passer de là à montrer qu'elle n'en a point d'horreur ; car cette façon de parler n'est pas propre, puisque la nature créée, qui est celle dont il s'agit, n'étant pas animée, n'est pas capable de passion ; aussi elle est métaphorique, et on n'entend par là autre chose, sinon que la nature fait les mêmes efforts pour éviter le vide, que si elle en avait de l'horreur : de sorte qu'au sens de ceux qui parlent de cette sorte, c'est une même chose de dire que la nature abhorre le vide, et dire que la nature fait de grands efforts pour empêcher le vide. Donc, puisque j'ai montré qu'elle ne fait aucune chose pour fuir le vide, il s'ensuit qu'elle ne l'abhorre pas ; car pour suivre la même figure, comme on dit d'un homme qu'une chose lui est indifférente, quand on ne remarque jamais en aucune de ses actions aucun mouvement de désir ou d'aversion pour cette chose ; on doit aussi dire de la nature qu'elle a une extrême indifférence pour le vide, puisqu'on ne voit jamais qu'elle fasse aucune chose, ni pour le rechercher, ni pour l'éviter (j'entends toujours par le mot de *vide*, un espace vide de tous les corps qui tombent sous les sens)....

Il y avait trois erreurs dans le monde qui empêchaient absolument la connaissance de cette cause des phénomènes.

La première est, qu'on a cru presque de tout temps que l'air est léger, parce que les anciens auteurs l'ont dit; et que ceux qui font profession de les croire les suivaient aveuglément, et seraient demeurés éternellement dans cette pensée, si des personnes plus habiles ne les en avaient retirés par la force des expériences : de sorte qu'il n'était pas possible de penser que la pesanteur de l'air fût la cause de cette union, quand on pensait que l'air n'a point de pesanteur.

La seconde est, qu'on s'est imaginé que les élémens ne pèsent point dans eux-mêmes, sans autre raison, sinon qu'on ne sent point le poids de l'eau quand on est dedans, et qu'un seau plein d'eau qui y est enfoncé n'est point difficile à lever tant qu'il y est, et qu'on ne commence à sentir son poids que quand il en sort : comme si ces effets ne pouvaient pas venir d'une autre cause, ou plutôt comme si celle-là n'était pas hors d'apparence, n'y ayant point de raison de croire que l'eau qu'on puise dans un seau pèse quand elle en est tirée, et ne pèse plus quand elle y est renversée; qu'elle perde son poids en se confondant avec l'autre, et qu'elle le retrouve quand elle en quitte le niveau. Étranges moyens que les hommes cherchent pour couvrir leur ignorance! Parce qu'ils n'ont pu comprendre pourquoi on ne sent point le poids de l'eau, et qu'ils n'ont pas voulu l'avouer, ils ont dit qu'elle n'y pèse pas, pour satisfaire leur vanité par la ruine de la vérité; et on l'a reçu de la sorte : et c'est pourquoi il était impossible de croire que la pesanteur de l'air fût la cause de ces effets, tant qu'on a été dans cette imagination; puisque quand même on aurait su qu'il est pesant, on aurait toujours dit qu'il ne pèse pas dans lui-même, et ainsi on n'aurait pas cru qu'il y produisît aucun effet par son poids.

C'est pourquoi j'ai montré, dans l'*Équilibre des liqueurs*, que l'eau pèse dans elle-même autant qu'au dehors, et j'y ai expliqué pourquoi, nonobstant ce poids, un seau n'y est pas difficile à hausser, et pourquoi on n'en sent pas le poids : et dans le *Traité de la pesanteur de la masse de l'air*, j'ai montré la même chose de l'air, afin d'éclaircir tous les doutes.

La troisième erreur est d'une autre nature; elle n'est plus sur le sujet de l'air, mais sur celui des effets mêmes qu'ils attribuaient à l'horreur du vide, dont ils avaient des pensées bien fausses.

Car ils s'étaient imaginé qu'une pompe élève l'eau non seulement à dix ou vingt pieds, ce qui est bien véritable, mais encore à cinquante, cent, mille, et autant qu'on voudrait, sans aucunes bornes.

Ils ont cru de même, qu'il n'est pas seulement difficile de séparer deux corps polis appliqués l'un contre l'autre, mais que cela est absolument impossible; qu'un ange, ni aucune force créée ne le saurait faire, avec cent exagérations que je ne daigne pas rapporter; et ainsi des autres.

C'est une erreur de fait si ancienne, qu'on n'en voit point l'origine; et Héron même, l'un des plus anciens et des plus excellents auteurs qui ont écrit de l'élévation des eaux, dit expressément, comme une chose qui ne doit pas être mise en doute, que l'on peut faire passer l'eau d'une rivière par-dessus une montagne pour la faire rendre dans le vallon opposé, pourvu qu'il soit un peu plus profond, par le moyen d'un siphon placé sur le sommet, et dont les jambes s'étendent le long des coteaux, l'une dans la rivière, l'autre de l'autre côté; et il assure que l'eau s'élèvera de la rivière jusque sur la montagne, pour redescendre dans l'autre vallon, quelque hauteur qu'elle ait.

Tous ceux qui ont écrit de ces matières ont dit la même chose; et même tous nos fontainiers assurent encore aujourd'hui qu'ils feront des pompes aspirantes qui attireront l'eau à soixante pieds, si l'on veut.

Ce n'est pas que, ni Héron, ni ces auteurs, ni ces artisans, et encore moins les philosophes, aient poussé ces épreuves bien loin; car s'ils avaient essayé d'attirer l'eau seulement à quarante pieds, ils l'auraient trouvé impossible; mais c'est seulement qu'ils ont vu des pompes aspirantes et des siphons de six pieds, de dix, de douze, qui ne manquaient point de faire leur effet, et ils n'ont jamais vu que l'eau manquât d'y monter dans toutes les épreuves qu'il leur est arrivé de faire. De sorte qu'ils ne se sont pas imaginé qu'il y eût un certain degré après lequel il en arrivât autrement. Ils ont pensé que c'était une nécessité naturelle, dont l'ordre ne pouvait être changé; et comme ils croyaient que l'eau montait par une horreur invincible du vide, ils se sont assurés qu'elle continuerait à s'élever, comme elle avait commencé sans cesser jamais; et ainsi tirant une conséquence de ce qu'ils voyaient à ce qu'ils ne voyaient pas, ils ont donné l'un et l'autre pour également véritable.

Et on l'a cru avec tant de certitude, que les philosophes en ont fait un des grands principes de leur science, et le fondement de leurs traités du vide : on le dicte tous les jours dans les classes et dans tous les lieux du monde, et depuis tous les temps dont on a des écrits, tous les hommes ensemble ont été fermes dans cette pensée, sans que jamais personne y ait contredit jusqu'à ce temps.

Peut-être que cet exemple ouvrira les yeux à ceux qui n'osent penser qu'une opinion soit douteuse, quand elle a été de tout temps universellement reçue de tous les hommes; puisque de simples artisans ont été capables de convaincre d'erreur tous les grands hommes qu'on appelle philosophes : car Galilée déclare dans ses Dialogues, qu'il a appris des fontainiers d'Italie, que les pompes n'élèvent l'eau que jusqu'à une certaine hauteur : ensuite de quoi il l'éprouva lui-même; et d'autres ensuite en firent l'épreuve en Italie, et depuis en France avec du

vif-argent, avec plus de commodité, mais qui ne montrait que la même chose en plusieurs manières différentes.

Avant qu'on en fût instruit, il n'y avait pas lieu de démontrer que la pesanteur de l'air fût ce qui élevait l'eau dans les pompes; puisque la pesanteur étant limitée, elle ne pouvait pas produire un effet infini.

Mais toutes ces expériences ne suffirent pas pour montrer que l'air produit ces effets; parce qu'encore qu'elles nous eussent tirés d'une erreur, elles nous laissaient dans une autre : car on apprit bien par toutes ces expériences, que l'eau ne s'élève que jusqu'à une certaine hauteur; mais on n'apprit pas qu'elle s'élevât plus haut dans les lieux plus profonds : on pensait, au contraire, qu'elle s'élevait toujours à la même hauteur, qu'elle était invariable en tous les lieux du monde; et comme on ne pensait point à la pesanteur de l'air, on s'imagina que la nature de la pompe est telle, qu'elle élève l'eau à une certaine hauteur limitée, et puis plus. Aussi Galilée la considéra comme la hauteur naturelle de la pompe, et il l'appela *la altessa limitatissima.*

Aussi comment se fût-on imaginé que cette hauteur eût été variable, suivant la variété des lieux? Certainement cela n'était pas vraisemblable; et cependant cette dernière erreur mettait encore hors d'état de prouver que la pesanteur de l'air est la cause de ces effets; car comme elle est plus grande sur le pied des montagnes que sur le sommet, il est manifeste que les effets y seront plus grands à proportion.

C'est pourquoi je conclus qu'on ne pouvait arriver à cette preuve, qu'en en faisant l'expérience en deux lieux élevés l'un au-dessus de l'autre, de quatre cents ou cinq cents toises; et je choisis pour cela la montagne du Puy de Dôme en Auvergne, par la raison que j'ai déclarée dans un petit écrit que je fis imprimer dès l'année 1648, aussitôt qu'elle eut réussi.

Cette expérience ayant découvert que l'eau s'élève dans les pompes à des hauteurs toutes différentes, suivant la variété des lieux et des temps, et qu'elle est toujours proportionnée à la pesanteur de l'air, elle acheva de donner la connoissance parfaite de ces effets; elle termina tous les doutes; elle montra quelle en est la véritable cause; elle fit voir que l'horreur du vide ne l'est pas; et enfin elle fournit toutes les lumières qu'on peut désirer sur ce sujet.

Qu'on rende raison maintenant, s'il est possible, autrement que par la pesanteur de l'air, pourquoi les pompes aspirantes élèvent l'eau plus bas d'un quart sur le Puy de Dôme en Auvergne, qu'à Dieppe.

Pourquoi un même siphon élève l'eau et l'attire à Dieppe, et non pas à Paris.

Pourquoi deux corps polis, appliqués l'un contre l'autre, sont plus faciles à séparer sur un clocher que dans la rue.

Pourquoi un soufflet bouché de tous côtés est plus facile à ouvrir sur le haut d'une maison que dans la cour.

Pourquoi, quand l'air est plus chargé de vapeurs, le piston d'une seringue bouchée est plus difficile à tirer.

Enfin pourquoi tous ces effets sont toujours proportionnés au poids de l'air, comme l'effet à la cause.

Est-ce que la nature abhorre plus le vide sur les montagnes que dans les vallons, quand il fait humide que quand il fait beau? Ne le hait-elle pas également sur un clocher, dans un grenier et dans les cours?

Que tous les disciples d'Aristote assemblent tout ce qu'il y a de fort dans les écrits de leur maître et de ses commentateurs, pour rendre raison de ces choses par l'horreur du vide, s'ils le peuvent : sinon qu'ils reconnoissent que les expériences sont les véritables maîtres qu'il faut suivre dans la physique; que celle qui a été faite sur les montagnes, a renversé cette croyance universelle du

monde, que la nature abhorre le vide, et ouvert cette connoissance qui ne saurait plus jamais périr, que la nature n'a aucune horreur pour le vide, qu'elle ne fait aucune chose pour l'éviter, et que la pesanteur de la masse de l'air est la véritable cause de tous les effets qu'on avait jusqu'ici attribués à cette cause imaginaire.

CHAPITRE VII

MARIOTTE

La loi de Mariotte. — Étude des vents et prévision du temps. — L'air en dissolution dans l'eau. — La mesure des hauteurs par le baromètre. — Le vase de Mariotte.

Edme Mariotte, né en Bourgogne en 1620, était prieur de l'abbaye de Saint-Martin-sous-Beaune, quand il fut nommé en 1666 membre de l'Académie des sciences, fondée la même année. Il mourut en 1684.

« Mariotte, dit Poggendorff [1], a rendu d'importants services à la mécanique physique, tant par ses théories que par ses recherches expérimentales, qu'il savait relier ensemble avec beaucoup d'habileté. C'est donc un physicien dans le vrai sens du mot. Il est surtout connu par cette loi à laquelle de nos jours, et même depuis fort longtemps, on a généralement attaché son nom. Cela n'est pas très équitable pour *Boyle*, qui avait trouvé cette loi bien avant *Mariotte*. Il est vrai que jusqu'à présent rien ne prouve que *Mariotte* ait eu connaissance de ses travaux, et d'autre part celui-ci l'a énoncée très clairement, tandis que *Boyle* doit partager l'honneur de sa découverte avec *Townley*. »

Les œuvres de Mariotte publiées, soit de son vivant, soit après sa mort, ont été réunies en deux tomes publiés à Leyde en 1717 (1 vol. in-4 chez Pierre Van der Aa), et réimprimés à La Haye en 1740.

Les principales sont : Les *Essais sur les Plantes, sur la*

1. *Histoire de la Physique,* Paris, Dunod, 1883, p. 298.

Nature de l'air, sur le Froid et le Chaud, publiés pour la première fois en 1676; le traité *de la Nature des couleurs*, enfin celui *du Mouvement des eaux*, publié en 1686.

Les œuvres de l'abbé Mariotte, trop peu connues, ne présentent pas la rigueur de méthode et l'énergique concision de celles de Pascal; mais le style en est clair, facile et digne du grand siècle auquel elles appartiennent.

Comme physicien, Mariotte est le continuateur de Pascal.

Le discours *de la Nature de l'air,* qui contient l'exposé de la *loi de Mariotte* et ses conséquences, est une suite naturelle du *Traité de la pesanteur de la masse de l'air* de Pascal. Mariotte l'avait évidemment sous les yeux ou dans la mémoire quand il a écrit son discours. Il en reproduit en partie les raisonnements. Mais, tandis que Pascal, préoccupé des objections des partisans de l'horreur du vide, ne songe qu'à les réfuter et à expliquer par la pesanteur de l'air tous les effets attribués à l'horreur du vide, Mariotte, débarrassé de cette préoccupation, va plus loin, arrive à la loi célèbre qui porte son nom; donne un premier essai d'explication des vents et de leur régime; étudie d'une manière remarquable le phénomène de la dissolution de l'air dans l'eau; enseigne le premier, enfin, le moyen de mesurer la hauteur des montagnes à l'aide du baromètre.

Plus tard, Mariotte entreprit de reproduire toutes les expériences du traité de Pascal sur l'*Équilibre des liqueurs.* Il n'eut pas le temps de publier lui-même ses recherches, et sur son lit de mort, il chargea La Hire [1] de ce soin. L'intéressante préface de celui-ci, en reproduisant ces faits, nous donne un témoignage précieux de l'admiration des savants pour les traités de Pascal.

Le traité *du Mouvement des eaux et des autres corps fluides* est donc la suite et le développement du traité de Pascal sur l'*Équilibre des liqueurs*, comme le *Discours de la Nature de l'air* est la suite du *Traité de la pesanteur de la masse de l'air.*

Nous reproduisons d'après l'édition de Leyde (1717) [2] une grande partie du *Discours de la Nature de l'air* [3].

1. *La Hire*, né en 1640, mort en 1719. Professeur au collège de France et membre de l'Académie des sciences. — J. G.

2. L'édition de la Haye, 1740, n'est qu'une réimpression, sans aucun changement, de celle de Leyde. Elle est fort soignée. — J. G.

3. P. 149.

Discours de la nature de l'air.

L'air est si nécessaire à la conservation de notre vie, et son étendue est d'une grandeur si considérable, que ceux qui s'appliquent à la connaissance des choses naturelles ne doivent pas négliger de rechercher ses diverses propriétés : elles sont très surprenantes, et en grand nombre; mais la plupart sont très difficiles à expliquer.

Quelques philosophes soutiennent que l'air n'est autre chose que les évaporations de l'eau et des autres matières contenues dans la terre, qui s'élèvent par la chaleur du soleil. Les enfants et les hommes grossiers ont bien de la peine à être persuadés de son existence, parce que, sa transparence le rendant invisible, ils se laissent facilement prévenir qu'il n'y a rien dans un vaisseau où l'on n'a versé aucune liqueur, ni mis aucun autre corps visible. On commence à s'en apercevoir par la résistance qu'il fait au mouvement des corps larges et peu épais, comme sont les feuilles de papier ou l'aile d'un grand oiseau, et par le bruit qu'il fait en sortant de l'eau lorsqu'on y plonge une bouteille ou une cruche vide.

Première propriété de l'air qui est la pesanteur.

On a beaucoup plus de peine à croire qu'il a de la pesanteur, et il faut beaucoup de raisonnements et d'expériences pour s'en laisser persuader, parce que, s'élevant au-dessus de l'eau et de toutes les autres liqueurs, on attribue ce mouvement de bas en haut à une légèreté absolue.

La preuve qui paraît la plus forte pour établir la pesanteur de l'air, est celle qu'on tire d'un effet surprenant qu'on voit arriver dans des tuyaux de verre de trois ou quatre pieds, fermés par un bout et remplis de mercure. L'expérience en est assez connue : on ferme avec

le doigt le bout ouvert d'un de ces tuyaux, et après l'avoir renversé on plonge ce bout ouvert dans d'autre mercure, mis dans quelque vaisseau; on ôte le doigt, et alors le tuyau ne se vide pas entièrement, mais il demeure rempli de mercure jusqu'à la hauteur d'environ vingt-sept pouces et demi. C'est ce qu'on appelle l'expérience du vide et ce tuyau avec le mercure s'appelle un baromètre, à cause qu'on s'en sert à mesurer la pesanteur de l'air, par le moyen des différentes hauteurs où ce mercure enfermé demeure, selon les diverses dispositions du temps; car il y a de certains jours où il s'élève à Paris jusqu'à vingt-huit pouces et quatre ou cinq lignes; et d'autres jours où il ne s'élève qu'à vingt-sept pouces, moins une ou deux lignes; et ordinairement il demeure dans les hauteurs comme de vingt-sept pouces et demi ou de vingt-sept pouces et huit lignes.

Pour faire voir que cette élévation de mercure et ces changements de hauteur sont des effets des poids différents dont la surface du mercure qui est dans le vaisseau est chargée, faites plonger un baromètre dans une eau profonde et fort claire, et vous verrez que la hauteur de trois pieds et demi d'eau par-dessus cette surface fera monter le mercure vers le bout d'en haut, environ trois pouces plus haut qu'il n'était dans l'air; et que la hauteur de quatorze pouces ne le fera élever qu'à un pouce plus haut : ce qui procède manifestement de ce que le mercure pesant quatorze fois plus que l'eau, comme on le peut connaître par le moyen d'une balance, le poids de trois pieds et demi d'eau fait équilibre au poids de trois pouces de mercure, et le poids de quatorze pouces à celui d'un pouce; et par conséquent trois pieds et demi d'eau le doivent faire monter à trois pouces plus haut, et quatorze pouces à un pouce seulement. Et parce qu'on voit par plusieurs expériences, que lorsqu'on porte un baromètre dans un lieu profond, le mercure s'élève plus haut que quand il est à la surface de la terre, et qu'il

baisse beaucoup plus dans les lieux fort élevés que dans ceux d'une médiocre hauteur; on tire facilement la même conséquence que celle qu'on tire à l'égard de l'eau : savoir que plus il y a d'air au-dessus du mercure du vaisseau où le bout du tuyau est plongé, plus le mercure s'élève, et que lorsqu'il s'élève à vingt-huit pouces, c'est une marque qu'une colonne de mercure de vingt-huit pouces pèse autant que la colonne d'air de même largeur, qui s'étend alors depuis la surface du mercure qui est dans le vaisseau, jusqu'au haut de l'atmosphère, c'est-à-dire jusqu'à la plus haute surface qui termine l'air.

On fait encore plusieurs autres expériences qui prouvent suffisamment que l'air est pesant, et les raisons par lesquelles quelques-uns ont voulu prouver qu'il était absolument léger, sont si faibles, qu'elles ne valent pas la peine d'être réfutées.

Seconde propriété de l'air qui est de pouvoir être condensé et dilaté et d'avoir la vertu de ressort.

La seconde propriété de l'air est de pouvoir être extrêmement condensé et dilaté, et de conserver toujours une vertu de ressort, par laquelle il repousse ou fait effort pour repousser les corps qui le pressent, jusqu'à ce qu'il ait repris son extension naturelle. La plupart des autres ressorts s'affaiblissent peu à peu, mais on ne remarque point que celui de l'air s'affaiblisse, et quelques-uns m'ont dit avoir vu des arquebuses à vent chargées depuis plus d'un an faire le même effet qu'étant chargées de nouveau. L'air se dilate aussi très facilement par la chaleur, et se condense par le froid, comme on le remarque tous les jours par plusieurs expériences.

Il ne faut pas croire que l'air qui est proche de la surface de la terre et que nous respirons ait son étendue naturelle : car, puisque celui qui est au-dessus est pesant, et qu'il a une vertu de ressort, celui qui est ici-bas étant

chargé du poids de toute l'atmosphère doit être beaucoup plus condensé que celui qui est le plus élevé, qui a la liberté entière de se dilater; et celui qui est entre ces deux extrémités doit être moins condensé que celui qui touche la terre, et moins dilaté que celui qui en est le plus éloigné.

On peut comprendre à peu près cette différence de condensation de l'air, par l'exemple de plusieurs éponges [1] qu'on aurait entassées les unes sur les autres. Car il est évident que celles qui seraient tout au haut, auraient leur étendue naturelle; que celles qui seraient immédiatement au-dessous seraient un peu moins dilatées; et que celles qui seraient au-dessous de toutes les autres seraient très serrées et condensées. Il est encore manifeste que si on ôtait toutes celles du dessus, celles du dessous reprendraient leur état naturel par la vertu du ressort qu'elles ont, et que si on en ôtait seulement une partie, elles ne reprendraient qu'une partie de leur dilatation.

Sa condensation se fait selon la proportion des poids dont il est chargé.

La première question qu'on peut faire là-dessus est de savoir si l'air se condense précisément selon la proportion des poids dont il est chargé, ou si cette condensation suit d'autres lois et d'autres proportions. Voici les raisonnements que j'ai faits pour savoir si la condensation de l'air se fait à proportion des poids dont il est pressé.

Étant supposé, comme l'expérience le fait voir, que l'air se condense davantage lorsqu'il est chargé d'un plus grand poids; il s'ensuit nécessairement que, si l'air qui est depuis la surface de la terre jusqu'à la plus grande hauteur où il se termine, devenait plus léger, sa partie la

1. Voir plus haut, Pascal, p. 139.

plus basse se dilaterait plus qu'elle n'est; et que s'il devenait plus pesant, cette même partie se condenserait davantage. Il faut donc conclure que la condensation qu'il a proche de la terre se fait selon une certaine proportion du poids de l'air supérieur dont il est pressé, et qu'en cet état il fait équilibre par son ressort précisément à tout le poids de l'air qu'il soutient.

De là il s'ensuit, que si on enferme dans un baromètre du mercure avec de l'air et qu'on fasse l'expérience du vide, le mercure ne demeurera pas dans le tuyau à la hauteur qu'il était : car l'air qui y est enfermé avant l'expérience fait équilibre par son ressort au poids de toute l'atmosphère, c'est-à-dire de la colonne d'air de même largeur qui s'étend depuis la surface du mercure du vaisseau jusqu'au haut de l'atmosphère, et par conséquent le mercure qui est dans le tuyau ne trouvant rien qui lui fasse équilibre, il descendra. Mais il ne descendra pas entièrement; car lorsqu'il descend, l'air enfermé dans le tuyau se dilate, et par conséquent son ressort n'est plus suffisant pour faire équilibre avec tout le poids de l'air supérieur. Il faut donc qu'une partie du mercure demeure dans le tuyau à une hauteur telle que l'air qui est enfermé étant dans une condensation qui lui donne une force de ressort capable de soutenir seulement une partie du poids de l'atmosphère, le mercure qui demeure dans le tuyau fasse équilibre avec le reste; et alors il se fera équilibre entre le poids de toute cette colonne d'air, et le poids de ce mercure resté joint par la force du ressort de l'air enfermé. Or si l'air se doit condenser à proportion des poids dont il est chargé, il faut nécessairement qu'ayant fait une expérience en laquelle le mercure demeure dans le tuyau à la hauteur de quatorze pouces, l'air qui est enfermé dans le reste du tuyau soit alors dilaté deux fois plus qu'il n'était avant l'expérience; pourvu que dans le même temps les baromètres sans air élèvent leur mercure à vingt-huit pouces précisément.

Pour savoir si cette conséquence était véritable, j'en fis l'expérience avec le sieur Hubin, qui est très expert à faire des baromètres et des thermomètres de plusieurs sortes. Nous nous servîmes d'un tuyau de quarante pouces, que je fis emplir de mercure jusqu'à vingt-sept pouces et demi, afin qu'il y eût douze pouces et demi d'air, et qu'étant plongé d'un pouce dans le mercure du vaisseau il y eût trente-neuf pouces de reste, pour contenir quatorze pouces de mercure et vingt-cinq pouces d'air dilaté au double. Je ne fus point trompé dans mon attente : car le bout du tuyau renversé étant plongé dans le mercure du vaisseau, celui du tuyau descendit, et après quelques balancements il s'arrêta à quatorze pouces de hauteur, et par conséquent l'air enfermé qui occupait alors vingt-cinq pouces était dilaté au double de celui qu'on y avait enfermé, qui n'occupait que douze pouces et demi.

Je lui fis faire encore une autre expérience, où on laissa vingt-quatre pouces d'air au-dessus du mercure, et il descendit jusqu'à 7 pouces conformément à cette hypothèse; car sept pouces de mercure faisant équilibre au quart du poids de toute l'atmosphère, les trois quarts qui restaient étaient soutenus par le ressort de l'air enfermé, dont l'étendue étant alors de 32 pouces, elle avait même raison [1] à la première étendue de 24 pouces, que le poids entier de l'air aux trois quarts du même poids.

Je fis faire encore quelques autres expériences semblables, laissant plus ou moins d'air dans le même tuyau, ou dans d'autres plus ou moins grands; et je trouvai toujours qu'après l'expérience faite, la proportion de l'air dilaté, à l'étendue de celui qu'on avait laissé au haut du mercure avant l'expérience, était la même que celle de vingt-huit pouces de mercure, qui est le poids entier de l'atmosphère, à l'excès de vingt-huit pouces par-dessus la hauteur où il demeurait après l'expérience :

1. Proportion.

ce qui fait connaître suffisamment *qu'on peut prendre pour une règle certaine ou loi de la nature, que l'air se condense à proportion des poids dont il est chargé.*

Que si l'on en veut faire des expériences plus sensibles, il faut avoir un tuyau recourbé, dont les deux branches soient parallèles, et dont l'une soit d'environ huit pieds de hauteur, et l'autre de douze pouces; la grande doit être ouverte en haut, et l'autre scellée exactement.

On commencera à verser un peu de mercure pour remplir le fond où est la communication des deux branches, et on fera en sorte que le mercure ne soit pas plus haut dans l'une que dans l'autre, afin d'être assuré que l'air enfermé n'est pas plus condensé ou dilaté que l'air libre.

On versera ensuite peu à peu du mercure dans le tuyau, prenant garde que le choc ne fasse entrer de nouvel air avec celui qui est enfermé; et on verra, comme je l'ai vu plusieurs fois, que, lorsque le mercure sera élevé à quatre pouces dans la petite branche, le mercure sera dans l'autre 14 pouces plus haut, c'est-à-dire 18 pouces au-dessus du tuyau de communication; ce qui doit arriver, si l'air se condense à proportion des poids dont il est chargé, puisque l'air enfermé est alors chargé du poids de l'atmosphère qui est égal au poids de vingt-huit pouces de mercure, et encore de celui de quatorze pouces, dont la somme 42 pouces est à 28 pouces, premier poids qui tenait l'air à 12 pouces dans la petite branche, réciproquement comme cette étendue de 12 pouces est à l'étendue restante de 8 pouces.

Si l'on verse de nouveau mercure jusqu'à ce qu'il soit monté à 6 pouces dans la petite branche, et qu'il ne reste que 6 pouces d'air, le mercure sera dans l'autre branche plus haut de 28 pouces que le haut de ces 6 pouces; ce qui doit arriver suivant la même hypothèse : car alors l'air enfermé sera chargé de 28 pouces de mercure, et de la pesanteur de l'atmosphère qui en vaut aussi 28, dont la somme 56 est double de 28, comme la première

étendue de 12 pouces d'air est double des 6 pouces qui restent; et lorsqu'en continuant de verser du mercure dans la grande branche, il sera dans la petite à 8 pouces de hauteur, il y aura 56 pouces de mercure au-dessus, dans la grande branche, ce qui fait encore la même proportion.

Si on veut pousser l'expérience plus loin, on pourra verser encore du mercure, jusqu'à ce que l'air de la petite branche soit réduit à 3 pouces; et on verra que, dans l'autre branche, le mercure sera élevé à 84 pouces plus haut, lesquels avec les 28 du poids de l'atmosphère font 112, nombre quadruple de 28, de même que la première étendue de 12 pouces est quadruple de la dernière de 3 pouces.

Pour bien faire ces expériences, il faut que la petite branche soit d'une largeur uniforme partout; car pour la grande, il n'est pas nécessaire que sa largeur soit précisément égale en toute sa longueur.

Par cette règle de la nature, on peut résoudre plusieurs problèmes de physique assez curieux.

Le même discours contient une étude intéressante des propriétés des gouttes de verre trempé, connues habituellement sous le nom de *larmes bataviques*.

Les observations de Mariotte sur les vents sont, malgré plusieurs erreurs, très dignes d'attention. Le premier, il signale l'intérêt qu'il y aurait à faire des observations simultanées du baromètre en des lieux très différents.

Cette idée n'a été appliquée que tout récemment; il a fallu l'invention du télégraphe électrique pour qu'elle pût amener des résultats utiles. Mais il est bien remarquable que, dès 1676, Mariotte l'ait signalée avec une pareille netteté.

Pour Mariotte [1], il y a trois causes principales des vents et quelques autres causes particulières et moins importantes. Les trois principales et générales sont :

1. MARIOTTE, Œuvres : *Traité du mouvement des eaux*, p. 343.

1° Le mouvement de la terre d'occident en orient, ou, si l'on n'admet point cette hypothèse [1], celui du ciel de l'orient à l'occident;

2° Les vicissitudes des raréfactions de l'air par la chaleur du soleil et de ses condensations lorsque le soleil cesse de l'échauffer;

3° Les vicissitudes des élévations de la lune vers son apogée et de ses descentes vers son périgée.

Parmi les causes particulières, il cite la chute des grosses pluies, des grêles épaisses et les soudaines fontes de neige dans les hautes montagnes.

Belles connaissances que donnent les observations des hauteurs du mercure dans le baromètre. (P. 159.)

Les observations des hauteurs différentes où le mercure se met dans le baromètre, nous peuvent donner plusieurs belles connaissances. Celle qui me semble la plus considérable est de pouvoir connaître fort souvent quel est le vent qui règne dans l'air, et de prévoir quel temps il doit faire le lendemain et deux ou trois jours après.

Les baromètres ordinaires de verre dont on se sert pour cet effet ont leurs tuyaux et leurs petits vaisseaux d'une seule pièce; ils sont si communs qu'il n'est pas nécessaire d'en faire ici la description.

J'ai fait quantité de ces observations à Paris pendant plusieurs années, et j'en ai fait faire en même temps quelques-unes à Loches, au Mont-de-Marsan, à Dijon, etc., desquelles j'ai tiré les maximes suivantes.

Lorsqu'un vent de sud ou de sud-ouest a soufflé quelques jours, et qu'il survient un vent de nord ou de nord-

1. On voit par cette phrase que l'opinion de Copernic et de Galilée n'était pas encore universellement admise. — On observe la même réserve dans le livre des *Principes* de Newton. — J. G.

est, le mercure s'élève de sept ou huit lignes plus haut qu'il n'était et se met à 28 pouces ou à 28 pouces et quelques lignes, et il fait ordinairement beau temps.

S'il survient un vent de sud ou de sud-ouest après un vent d'est, ou d'est-nord-est, le mercure descend jusqu'à 27 pouces 4 lignes, et quelquefois jusqu'à 27 pouces ou 26 pouces 10 lignes, et il se fait alors ordinairement de grandes pluies. Il arrive quelquefois que le sud et le sud-ouest ayant poussé beaucoup d'air et de nuées vers les parties du nord et du nord-est, il se fait un reflux d'air qui fait le nord ou le nord-est; ces vents ramènent les nuées et, les pressant, il se fait une pluie continuelle pendant un jour ou deux.

Lorsque les vents du nord et du nord-est cessent, l'est règne souvent ensuite, et le sud et le sud-ouest lui succèdent.

Explications de certains effets et mutations des vents.

Voici comment on peut expliquer ces effets et ces mutations des vents.

Supposant le mouvement de la terre, l'air qui est proche de l'équateur doit suivre son mouvement, mais un peu moins vite, et c'est de là que procède qu'on sent presque toujours un vent d'est en ces quartiers-là : mais vers les tropiques et à 10 ou 12 degrés au delà, la surface de la terre ne va pas si vite que l'air qui est sous la ligne, et il arrive quelquefois qu'une partie de cet air échauffé va de ce côté-là et fait un sud-ouest, ou un ouest, de la même manière que l'eau d'une rivière qui va fort vite dans son milieu pousse des vagues à côté, de part et d'autre, qui ne suivent pas sa direction, mais elles vont obliquement du côté du rivage, et même quelquefois en un sens opposé. Lorsque ces vagues cessent, et que les vents du nord et du nord-est ont fait leur reflux dans les zones tempérées, il s'y fait ordinairement un vent

d'est, parce qu'il n'y a point alors d'autre mouvement dans l'air que celui qui se fait par le mouvement de la terre, la même chose doit arriver vers l'équateur.

Le sud et le sud-ouest succèdent ordinairement à l'est dans les zones tempérées, et particulièrement en France, parce qu'il vient de nouvelles vagues de l'air qui est vers l'équateur. Mais cet ordre est quelquefois changé, parce qu'il y a d'autres causes qui produisent les vents, dont les principales sont les éruptions des exhalaisons et des vapeurs de la terre, le mouvement de la lune, la condensation de l'air par le froid et sa dilatation par la chaleur, etc.

Le nord et le nord-est font ordinairement élever le mercure des baromètres, non seulement parce qu'ils rendent l'air plus pesant en le condensant, mais aussi parce qu'en soufflant contre la terre de haut en bas, et pressant l'air par ce moyen, ils augmentent son ressort; ce qui fait élever le mercure; et comme le nord-est amène ordinairement le beau temps en France, on juge par cette élévation qu'il doit faire beau temps....

On pourrait mieux déterminer ces choses, si on conférait [1] ensemble plusieurs observations faites en même temps en des lieux fort éloignés les uns des autres.

L'étude de la dissolution de l'air dans l'eau dénote un observateur d'une rare sagacité.

Troisième propriété de l'air qui est de s'insinuer et de se dissoudre dans l'eau et plusieurs liqueurs. (P. 163.)

La troisième propriété de l'air est qu'il s'insinue et se dissout en quelque façon dans l'eau et dans plusieurs autres liqueurs; ce qu'on connaît par l'expérience suivante, que j'ai faite plusieurs fois avec grand soin.

1. Comparait.

Je fais bouillir de l'eau environ une heure, et après qu'elle est refroidie j'en emplis une fiole dont la pomme est fort ronde; je la ferme avec le doigt, et après y avoir laissé entrer de l'air de la grosseur d'une noisette, je la renverse, et j'en fais tremper le bout dans un verre où il y a de l'eau : j'ai toujours remarqué que dans trois ou quatre jours cet air était presque entièrement entré dans l'eau, mais que le reste y entrait bien plus difficilement à proportion, et qu'il y en avait encore un peu de reste sept ou huit jours après. J'ai fait plusieurs semblables expériences avec des bulles d'air plus petites....

Ce qui fait voir que, comme le sel se dissout plus facilement dans l'eau où il n'y en a point encore que lorsqu'il y en a déjà du dissous, l'air se dissout aussi plus facilement dans de l'eau d'où la matière aérienne a été chassée par la chaleur, et que ce qui reste de l'air s'insinue plus difficilement dans l'eau, que lorsqu'il y est mis fraîchement; car, comparant le volume de ces gouttes d'air, il s'en était dissous en douze jours les trois quarts, et dans les huit jours suivants, un huitième seulement.

Cet effet se fait apparemment par deux causes. La première est le pressement de l'air de l'atmosphère, qui pouvant élever l'eau de la bouteille jusqu'à trente-deux pieds, presse la petite bulle, ce qui lui aide à s'insinuer dans l'eau. La seconde est une disposition qui est dans l'eau à dissoudre de certains corps, comme les sels, jusqu'à une certaine quantité; laquelle disposition peut aussi s'étendre à dissoudre et à absorber une certaine portion d'air, et non davantage.

Par les mêmes raisons, l'air qui est contigu à la surface d'une rivière ou d'un étang, s'y peut insinuer, étant pressé par le poids de l'air supérieur; d'où il s'ensuit que dans toutes sortes d'eaux il y a un peu d'air mêlé. J'ai observé que, si on met une petite bulle d'air de deux ou trois lignes dans une fiole de verre pleine d'eau de

rivière non bouillie, il faut plus de quinze jours pour la faire entrer entièrement dans l'eau.

Si on fait la même expérience avec de l'huile qu'on aura tenue sur le feu jusqu'à ce qu'elle ne fasse plus de bruit ni d'écume, la bulle d'air n'entrera pas dans l'huile qu'on aura mise dans la bouteille et demeurera sensiblement plusieurs jours dans sa même étendue.

Il ne faut pas croire que l'air dissous mêlé dans l'eau y conserve une étendue égale à celle de celui que nous respirons; car il y est beaucoup plus condensé, et, en cet état, il ne doit pas être appelé air, mais matière aérienne....

Des causes par lesquelles la matière aérienne dissoute et condensée dans l'eau peut en sortir et se remettre en air. (P. 166.)

La matière aérienne dissoute et condensée dans l'eau en peut sortir et se remettre en air par trois causes différentes.

La première est par la chaleur, lorsque l'eau commence à bouillir : car ce premier mouvement de l'eau procède de la matière aérienne qui se dilate et se remet en véritable air, et qui repousse l'eau en s'élevant....

La seconde cause qui fait que la matière aérienne se remet en air, est lorsqu'on affaiblit le ressort de l'air qui presse l'eau dans laquelle cette matière est engagée, comme on le voit dans l'expérience du vide : car d'abord que l'air qui est dans le récipient est diminué de moitié, et par conséquent que le pressement de son ressort est affaibli de moitié, il commence à s'élever des bulles d'air de l'eau qui est sous le récipient, de même que si on mettait du feu dessous. Cette expérience fait voir manifestement que ces bulles ne procèdent pas des esprits ignés ou de la matière des vaisseaux.

Lorsqu'on continue à tirer l'air du récipient, il sort un plus grand nombre de ces bulles, jusqu'à ce que la matière

aérienne en soit dehors. Que si on joint ces deux causes ensemble, c'est-à-dire si l'eau est chaude dans le temps qu'on pompe l'air, elle jettera deux ou trois fois autant de bulles dans le vide, et souvent elle bout plus fort que si elle était sur un grand feu, quoiqu'elle ne soit que tiède.

Le même effet arrive à l'esprit-de-vin : car encore qu'on ne l'ait point échauffé, la matière aérienne qui y est engagée aussi bien que dans l'eau, se dilate d'abord, et fait jaillir l'esprit-de-vin par-dessus les bords du verre; mais cette matière est bientôt épuisée dans l'esprit-de-vin parce qu'elle s'en dégage très facilement et en sort d'abord en grande abondance; au lieu qu'elle continue longtemps dans l'eau. Mais aussi, si on emplit une petite bouteille de cet esprit-de-vin dont la matière aérienne est sortie, et qu'on plonge le goulet dans de l'eau, ou dans d'autre esprit-de-vin, laissant une bulle d'air grosse comme le bout du doigt au haut de la bouteille renversée, elle sera sucée par l'esprit-de-vin en moins de trois heures; et si on y met encore une bulle d'air nouveau d'une pareille grosseur, elle y entrera encore en peu de temps; au lieu que, dans l'eau, cet effet se fait bien plus lentement, comme il a été dit ci-dessus.

La troisième cause du retour de la matière aérienne en air, procède de la gelée : car les particules de l'eau s'accrochant alors les unes aux autres, cette matière qui ne peut s'y joindre et se geler, s'en sépare, et cessant d'être dissoute dans l'eau, elle reprend sa première consistance d'air; de même que le sel dissous dans l'eau se remet en sel lorsqu'on y verse beaucoup d'esprit-de-vin, qui empêche l'action de l'eau sur le sel....

Cette propriété qu'a l'air de se dilater et de se condenser est très difficile à expliquer; et c'est l'une de ces matières que l'esprit humain ne peut bien concevoir....

On pourrait ici demander jusqu'où se peut étendre cette

dilatation de l'air? Voici l'expérience que j'en ai vu faire : On plongea le goulet d'une bouteille pleine d'eau dans un verre à boire qui en était rempli à moitié, et les ayant mis sur la machine du vide, on les couvrit d'un récipient; on en tira l'air peu à peu, et quelques bulles étant montées au haut de la bouteille, l'eau descendit peu à peu jusques au goulet, et ensuite jusqu'au-dessous de la surface de l'eau du verre qui s'était élevée par la chute de celle de la bouteille. Or en cet état, l'air avait encore quelque vertu de ressort, et n'avait pas son étendue naturelle, puisqu'il soutenait l'eau du verre au-dessus de celle qui était dans le cou de la bouteille; mais après qu'on eut fait rentrer l'air dans le récipient, l'eau remonta dans la bouteille, et il resta seulement une bulle d'air au haut d'environ deux lignes de diamètre, laquelle étant comparée à la capacité de la bouteille, je trouvai par le calcul, qu'elle n'en occupait pas $\frac{1}{4000}$, et par conséquent que l'air de cette bulle avait été 4000 fois plus raréfié, et avait encore conservé une partie de son ressort, par laquelle il faisait équilibre au poids de ce peu d'eau qu'il soutenait, et au ressort de l'air qui était encore sous le récipient, mais beaucoup plus raréfié; car si l'air du matras et celui du récipient eussent été raréfiés également, celui du matras serait demeuré à fleur d'eau.

Pour expliquer en général la raréfaction et la condensation de l'air, son mélange et sa dissolution dans l'eau, on peut concevoir que l'air est quelque chose de semblable à du coton, qui étant pressé occupe un très petit espace, et qui peut s'étendre à un beaucoup plus grand. On peut remarquer que lorsqu'on verse de l'encre dessus, elle n'y entre pas d'abord et il demeure tout blanc dans le milieu, sans que l'encre y pénètre. Par cet exemple on peut comprendre pourquoi l'eau entre difficilement dans les intervalles des bulles d'air, mais qu'enfin elle y entre, et que lorsque cette matière remplie d'eau dans ses intervalles, est excitée par la chaleur, elle se met en mouve-

ment et repousse l'eau : et comme le coton peut se développer et occuper un bien plus grand espace qu'il n'occupe ordinairement, l'air tout de même développe ses spires, et les unes s'appuyant sur les autres, elles agissent en ressort et repoussent de toutes parts par leur mouvement les autres liqueurs et les corps qui les pressent. *Il ne faut point croire que la chaleur insinue quelques esprits ignés dans l'air pour le dilater; car les corps s'échauffent sans qu'il y entre aucune matière du dehors, comme quand on bat une balle de plomb à coups de marteau, ou que les roues de carrosse s'allument en tournant très vite.*

L'esprit-de-vin, l'huile, et l'eau même se dilatent par la chaleur sans qu'on y voie former des bulles d'air; et, à plus forte raison, il n'est pas nécessaire que l'air reçoive aucune matière du dehors, mais seulement qu'il développe ses spires, et qu'il écarte les autres corps qui le pressent.

Il est bon de remarquer ici que l'air de soi-même n'a aucune chaleur et qu'étant éloigné des causes qui la produisent, comme du feu ou du soleil, etc., il perd peu à peu celle qu'il en a reçue, et devient enfin très froid par la communication qu'il a avec l'air supérieur, qui est toujours très froid, à cause que sa transparence l'empêche de recevoir l'impression du soleil, et que la réflexion des rayons, et les vapeurs chaudes de la terre ne peuvent atteindre jusqu'à lui. On peut connaître manifestement ce grand froid de l'air supérieur par les neiges perpétuelles qui couvrent les hautes montagnes, même sous la zone torride : et lorsque l'air devient tout à coup très froid aux mois de mai et de juin, cela procède du mouvement des vents qui rabattent l'air supérieur contre la terre, et refroidissent par ce moyen celui qui y était ou le chassent en haut.

Il est évident par l'expérience ci-dessus, que l'air peut se dilater plus de 4000 fois davantage qu'il n'est près de la terre, avant que d'être dans sa dilatation naturelle, telle qu'il l'a au delà de l'atmosphère, où il n'est chargé d'aucun

poids; mais il est très difficile de déterminer jusqu'où s'étend cette dilatation, et même de savoir quelle est la hauteur de l'atmosphère....

Nous avons souligné un passage où Mariotte refuse d'admettre la matérialité de la chaleur. Cette idée resta absolument inaperçue, bien que Mariotte, comme nous le verrons plus loin, y soit revenu dans son traité du Froid et du Chaud. Un siècle plus tard, Lavoisier se posera la même question, et n'osera, faute de preuve suffisante, contredire formellement l'hypothèse universellement acceptée de la matérialité de la chaleur.

Mais revenons à l'étude des conséquences de la dilatation de l'air.

Mariotte est le premier qui ait cherché à mesurer la hauteur des montagnes à l'aide du baromètre. Sa méthode, pour n'être pas absolument rigoureuse, n'en reste pas moins ingénieuse et intéressante.

Il chercha d'abord en discutant les observations faites avant lui et en mesurant lui-même seul, ou avec Cassini et l'abbé Picard, la dépression barométrique du fond des caves de l'Observatoire au sommet de la terrasse, quelle hauteur d'air correspond à une ligne de mercure au niveau du sol; il admet le chiffre de 60 pieds pour une ligne de mercure, soit 5 pieds pour 1/12 de ligne; et comme la hauteur moyenne du mercure au niveau du sol est de 28 pouces, ou $28 \times 12 \times 12 = 4\,032$ douzièmes de ligne, il partage l'atmosphère en 4 032 couches équivalant chacune à 1/12 de ligne de mercure [1].

Et parce que 60 pieds par supposition font une ligne au plus bas lieu, 5 pieds feront $\frac{1}{12}$ de ligne : donc la première division sera de 5 pieds; et parce que depuis la terre jusques à la moitié de l'atmosphère il y a 2016 divisions, et qu'en la plus haute de ces 2016 divisions, l'air y doit être deux fois plus raréfié, à cause qu'il ne soutient que la moitié du poids de l'atmosphère (il l'est peut-être un peu moins à cause du froid qui y règne), cette 2016e partie

1. Rappelons que 1 pied vaut $0^{m},3248$; 1 pouce $0^{m},027$ et 1 ligne $2^{mm},256$. — J. G.

aura 10 pieds d'étendue, et les 2016 divisions vont toujours en croissant proportionnellement depuis 5 pieds jusques à 10. On pourra savoir l'augmentation de chacune par les règles dont on se sert pour trouver les logarithmes : mais parce que la somme des progressions géométriques ne diffère guère de la somme qu'on trouverait en prenant ces progressions selon la proportion arithmétique, je fais ici le calcul suivant cette dernière proportion, et, pour avoir la somme [1], je prends 7 et demi, moyen arithmétique entre 5 et 10, que je multiplie par 2 016 ; le produit 15 120 pieds sera toute l'étendue de l'air depuis le lieu de l'observation jusques à la moitié de l'air en pesanteur, c'est-à-dire jusques à la 2016e division, et toute cette étendue pèsera autant que 14 pouces de mercure ou 168 lignes. Or 15 120 pieds font un peu plus que les cinq quarts d'une lieue française. On suppose pour la facilité du calcul que chaque division de 5 pieds a toutes ses parties également étendues, quoique celles du cinquième pied soient un peu plus dilatées que celles du premier ; mais cette différence est comme insensible et changerait peu le calcul.

La moitié du reste de l'air aura 1 008 divisions ; et parce que la première de ces 1 008 est de 10 pieds à peu près, et la plus haute de 20, puisqu'elle est de moitié moins chargée, il faut prendre 15 pour le nombre moyen qui, multiplié par 1 008 divisions, donne encore le même nombre de 15 120 pieds ou 5 quarts de lieue. La moitié du reste aura 504 parties, dont la plus haute aura 40 pieds d'épaisseur et la plus basse 20 ; et par les mêmes raisons le produit de 30, étendue moyenne, par 504, qui est encore 15 120 pieds ou 5 quarts de lieue, sera l'étendue de ces 504 parties, et toujours chacune de ces parties pèsera $\frac{1}{12}$ de

1. On sait qu'on a pour l'expression de cette somme de termes :

$$S = \frac{a + l}{2} n.$$

ligne; et en continuant de même on trouvera 5 quarts de lieue pour les 252 parties suivantes, autant pour les 126, et de même pour les 63, 31 $\frac{1}{2}$, 15 $\frac{1}{4}$, 7 $\frac{7}{8}$, 3 $\frac{15}{16}$ et 1 $\frac{31}{32}$ qui auront toutes chacune 5 quarts de lieue; et donnant encore à la dernière 5 quarts de lieue, on trouvera en tout 12 fois 5 quarts de lieue, c'est-à-dire quinze lieues, ou 184320 pieds.

Que si on suppose que l'air étant raréfié 4032 fois n'a pas encore son étendue naturelle : qu'on le suppose 8064 ou 16128, ou 32256 fois davantage qu'ici-bas, cette dernière supposition n'ajoutera que 15 quarts de lieue, ou 4 lieues au plus, tellement que selon cette hypothèse toute l'étendue de l'air ne pourrait aller qu'à environ 20 lieues; et quand l'air serait huit millions de fois plus raréfié que celui qui est proche de la surface de la terre, toute son étendue, suivant la même progression, n'irait pas à 30 lieues.

Pour confirmer la bonté de ce calcul de la hauteur de l'air, je l'appliquerai à deux célèbres observations, dont l'une est rapportée dans le livre de Monsieur Paschal de l'*Equilibre des liqueurs*, et l'autre a été faite depuis quelques années par Monsieur *Cassini*. Celle de Monsieur *Cassini* est telle :

Il prit la hauteur d'une montagne de Provence qui est sur le bord de la mer, et il la trouva de 1070 pieds; le mercure du baromètre dont il se servait, était à 28 pouces au plus bas lieu, et, au sommet de la montagne, il se trouva descendu de 16 lignes et un tiers.

Le calcul lui donne 1 080 pieds au lieu de 1 070 pour la hauteur de la montagne.

Pour la seconde, Mariotte trouve 490 toises au lieu de 500 que les auteurs ont donnée à la hauteur du Puy de Dôme.

Puis il continue par ces lignes où il indique si nettement les effets produits sur l'organisme dans les ascensions très élevées.

Il suit des expériences et des raisonnements ci-dessus que si on mettait de l'eau tiède à cinq quarts de lieue de hauteur, elle bouillirait, puisque si on en met dans la machine du vide, elle bout très fort dès qu'on a diminué de moitié l'air qui est sous le récipient. Il s'ensuit aussi que s'il y avait une montagne de la hauteur d'une lieue et demie, les hommes et les oiseaux n'y pourraient vivre; parce que leur sang n'étant plus pressé que par la moitié du poids de l'air, et encore moins, et étant plus chaud que de l'eau tiède, il en sortirait quantité de bulles d'air, qui empêcheraient sa circulation, et troubleraient l'économie naturelle du cœur et des autres parties du corps.

Traité du mouvement des eaux.

Nous avons dit plus haut que le *Traité du mouvement des eaux et des corps fluides* peut être considéré comme une suite et un développement du traité de Pascal sur l'*Équilibre des liqueurs*.

C'est dans ce traité que se trouve décrite la disposition bien connue sous le nom de *vase de Mariotte*. Elle est présentée comme un moyen de mettre en évidence le poids de l'air. Mariotte ne paraît pas avoir vu qu'elle fournissait un moyen commode d'obtenir un écoulement constant.

Nous donnons la préface de La Hire et la description du vase de Mariotte.

Préface du Traité du mouvement des eaux et des autres fluides. (Par M. de la Hire, lecteur et professeur du roi pour les mathématiques et de l'Académie royale des sciences.)

Ceux qui ont jusqu'à présent écrit des hydrauliques, nous ont donné chacun en particulier des remarques très curieuses sur la pesanteur, sur la vitesse et sur plusieurs autres propriétés des eaux. Le traité de l'équilibre des liqueurs de M. Pascal est un des plus considérables, tant

pour les belles découvertes qu'il a faites, que pour les propriétés singulières qu'il démontre d'une manière si claire et si convaincante, que nous ne pouvons douter que ce grand génie n'eût entièrement épuisé cette matière s'il avait examiné toutes les parties qui la composent.

Il y avait plusieurs années que M. Mariotte s'appliquait avec un soin extraordinaire à faire les expériences qui sont dans le traité de M. Pascal, pour voir s'il n'aurait point négligé des circonstances particulières qui lui pussent donner lieu de remarquer quelque chose de nouveau. En effet, dans ses expériences il a fait plusieurs observations que l'on ne trouve point dans le petit livre de M. Pascal, ni dans les autres qui l'ont précédé; et il se trouva ensuite insensiblement engagé dans la partie de cet ouvrage qui a de plus grandes utilités, comme la mesure et ce que l'on appelle la dépense des eaux suivant les différentes hauteurs des réservoirs, et les différents ajutages; il passe ensuite aux précautions qu'on doit prendre pour conduire les eaux, et ayant enfin traité fort au long de la résistance des solides, il parle de la force que doivent avoir les tuyaux pour résister aux différentes charges de l'eau.

Il eut occasion de faire sur ces parties plusieurs expériences à Chantilly en présence de S. A. S. Monseigneur le Prince, où l'abondance de l'eau et la hauteur des réservoirs lui fournissaient tous les moyens nécessaires. Il en fit aussi plusieurs à l'Observatoire en présence de MM. de l'Académie, et, les ayant mises en ordre, il en composa cet ouvrage.

Dans les premiers jours de la maladie dont il mourut, il me pria de vouloir prendre le soin de l'impression de ce Traité, en me laissant la liberté d'y changer et d'y retrancher ce que je jugerais à propos : mais j'ai cru qu'il valait mieux le donner au public tel qu'il l'a composé, que d'y apporter du mien.

Le vase de Mariotte. (P. 363.)

On prouve encore le poids de l'air par une expérience assez curieuse. On prend une bouteille de verre AB (fig. 10), à laquelle on fait une ouverture de 2 ou 3 lignes comme en C; on met dans le col G un tuyau de verre DE d'environ 2 lignes de diamètre, et on l'y soude avec un mélange de cire et de térébenthine ou avec de la poix, en sorte que l'air ne puisse passer entre deux; ensuite on remplit la bouteille d'eau par l'ouverture C en la couchant, et même le tuyau ED en tenant fermé le bout D : et lorsqu'on pose la bouteille en sa situation perpendiculaire, l'eau qui est dans le tuyau descend jusques en E, et il en sort autant par l'ouverture C, si l'extrémité E du tuyau est à la même hauteur que le milieu de l'ouverture C. Que si le tuyau s'étend au-dessous de l'ouverture comme jusqu'en I, l'eau cessera de couler, le tuyau étant vide jusques à E, et la bouteille demeurera pleine d'eau jusques à la soudure vers G. Que si le bout du tuyau est un peu plus haut que le dessus de l'ouverture C, comme en L, et qu'il ait 2 ou 3 lignes de largeur; alors on verra sortir de l'air par ce bout ouvert, et remonter au haut de la bouteille, et l'eau sortir en même temps par l'ouverture C jusqu'à ce qu'il n'y en ait plus au-dessus du point C. Ces effets s'expliquent en la manière suivante.

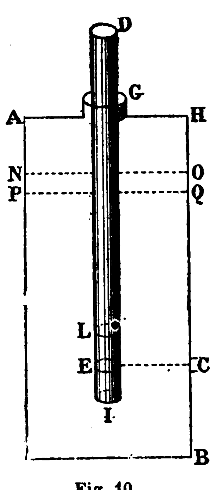


Fig. 10.

Le poids de l'air extérieur fait effort vers l'ouverture C, pour repousser l'eau qui fait effort par son poids pour sortir, et l'air qui est au-dessus du tuyau ED fait aussi

un effort et agit par son poids sur l'eau qui y est contenue; et se joignant au poids de cette eau, il doit forcer le poids de l'air qui agit vers C; ce qui fait que l'eau du tuyau descend jusques en E, et alors l'air fait effort d'un côté en E, et de l'autre en C, et soutiennent conjointement l'eau de la bouteille depuis E et C jusques à AH, et elles la soutiendraient quand même la hauteur CH serait de 30 pieds, le bout du tuyau étant au-dessous du bas de l'ouverture C. Mais lorsque le tuyau ne descend que jusques en L, alors l'eau depuis L jusques en E jointe au poids de l'air qui pèse sur L, force l'air en C, et l'eau coule par C pendant que l'air descend de D en L et entre goutte à goutte dans l'eau par le bout ouvert L, et s'élève au-dessus de la surface de l'eau qui est au-dessous du col de la bouteille. Si l'on penche la bouteille en sorte que le point L et le milieu de l'ouverture C soient en une même ligne horizontale, on verra la moitié d'une goutte d'air qui passera au-dessous du point L, mais qui ne se séparera pas du reste, si l'on ne rehausse un peu le bout L.

Lorsqu'on a laissé entrer de l'air dans la bouteille en sorte que la surface de l'eau soit en NO, et qu'on échauffe cet air avec la main pour le faire dilater, on fait sortir quelques gouttes d'eau par C quoique le bout du tuyau soit au-dessous de cette ouverture, et l'eau descendra comme jusques en PQ; mais si on laisse refroidir cet air, on verra pendant quelque temps entrer des gouttes d'air par C, à cause que l'air qui était descendu jusques en PQ se remet dans sa première étendue depuis NO jusques à AH; et n'y ayant point d'eau pour remplir l'espace NOPQ, il faut que l'air y vienne du dehors par l'ouverture C.

LIVRE II

LA CHALEUR

CHAPITRE I

DENIS PAPIN

L'invention de la machine à vapeur.

L'invention de la machine à vapeur forme une transition naturelle entre l'étude de la pression atmosphérique et celle de la chaleur. C'est en effet en cherchant à reproduire facilement les merveilleux effets de la pression atmosphérique, mis en évidence par les célèbres expériences de Magdebourg [1], que Denis Papin a été conduit à imaginer l'appareil qui est regardé par Arago et par tous ceux que la passion n'a pas aveuglés comme le germe véritable de notre machine à vapeur. Cet appareil, qu'il ne faut pas confondre, comme on le fait quelquefois, avec le *Digesteur* ou *Marmite de Papin,* réalise en effet pour la première fois le mouvement alternatif d'un piston dans un corps de pompe, par l'effet combiné de la pression atmosphérique et de la force élastique de la vapeur. C'est donc bien, nous le répétons, le germe de notre machine à vapeur; et on

1. *Otto de Guéricke* (1602-1686), inventeur de la première machine électrique et de la machine pneumatique, mit en évidence les effets de la pression atmosphérique dans des expériences faites à Magdebourg, en 1650, puis répétées à Ratisbonne, devant la Diète, en 1654. — Elles sont décrites dans son livre : *Experimenta nova, ut vocant Magdeburgica, de vacuo spatio*, etc. Amsterdam, 1672. — J. G.

en lira avec intérêt la description — l'acte de naissance en quelque sorte — dans le texte même de Papin.

Denis Papin est né à Blois en 1647. Fils d'un médecin, il étudia la médecine à l'université d'Angers où il fut reçu docteur en 1669. Il vint alors à Paris et s'y lia avec Huyghens. Il y publia son premier livre : *Nouvelles expériences pour faire le vide*, 1674, puis il se rendit à Londres, où il se lia avec R. Boyle et fut nommé en 1681 membre de la Société Royale de Londres. Il a perfectionné la machine pneumatique; c'est lui qui a imaginé les deux corps de pompe et la platine. Il publia à Londres la description de son *Digesteur*. (*Manière d'amollir les os et de faire cuire de la viande en peu de temps et à peu de frais*. Londres, 1681.)

De retour à Paris, il en fut bientôt chassé — Papin était protestant — par la révocation de l'Édit de Nantes (1685). Il retourna alors en Angleterre, puis fut appelé à la chaire de mathématiques de l'université de Marbourg, dans la Hesse. Ses mémoires se trouvent dans les *Transactions philosophiques* de Londres et dans les *Acta eruditorum* de Leipsig. C'est dans ce dernier recueil que parut en 1690, en latin, la description de la première machine à vapeur. Une traduction française parut à Cassel en 1695. Il avait gardé des amis en France et fut nommé, en 1709, correspondant de l'Académie des sciences. La fin de sa vie est restée obscure. On croit qu'il est mort à Marbourg vers 1714.

On consultera avec fruit sur l'histoire de la machine à vapeur, les ouvrages suivants : 1° la célèbre notice d'ARAGO (*Notices scientifiques*, t. II, p. 1-116); — 2° l'*Histoire des découvertes scientifiques* de FIGUIER; — 3° l'*Histoire de la machine à vapeur*, par THURSTON, trad. de Hirsch; — 4° enfin, une série d'articles remarquables de M. DE LAPPARENT dans *le Correspondant*, réunis en un volume chez Savy : *le Siècle du Fer*.

La machine à vapeur de Papin, d'après le « Recueil de diverses pièces touchant quelques nouvelles machines », Cassel, 1695, p. 38 et suiv. — Recueil français, qui est la traduction du mémoire latin publié en 1690 dans les *Acta eruditorum*, Leipsig.

On a fait divers essais pour tâcher de faire un vide exact par le moyen de la poudre à canon : car de cette

façon, n'y ayant aucun air pour résister au-dessous du piston, toute la colonne de l'atmosphère qui pèse dessus la pousserait toujours avec une force égale depuis le haut jusqu'au bas. Mais ç'a été en vain qu'on a travaillé à cela jusqu'ici : et, comme j'ai déjà dit, après que la flamme de la poudre est éteinte, il reste toujours près de la cinquième partie de l'air dans le tuyau. J'ai donc tâché d'en venir à bout d'une autre manière : et (comme l'eau a la propriété, étant par le feu changée en vapeur, de faire ressort comme l'air, et ensuite de se recondenser si bien par le froid, qu'il ne lui reste plus aucune apparence de cette force de ressort), j'ai cru qu'il ne serait pas difficile de faire des machines dans lesquelles par le moyen d'une chaleur médiocre, et à peu de frais, l'eau ferait ce vide parfait qu'on a inutilement cherché par le moyen de la poudre à canon : et entre plusieurs différentes constructions qu'on peut imaginer pour cela, celle-ci m'a paru la meilleure (fig. 11). AA est un tuyau égal d'un bout à l'autre et bien fermé par en bas ; BB est un piston ajusté à ce tuyau ; DD est le manche attaché au piston ; EE une verge de fer qui se peut mouvoir autour d'un axe en F. — G est un ressort qui presse la verge de fer EE, en sorte qu'elle entre dans l'échancrure H, sitôt que le piston avec son manche est élevé assez haut pour que la dite échancrure H paraisse au-dessus du couvercle II.

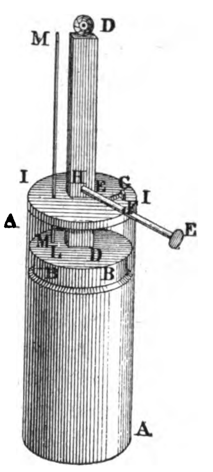


Fig. 11.

L est un petit trou au piston par où l'air peut sortir du fond du tuyau AA, lorsqu'on y enfonce le piston pour la première fois.

Pour se servir de cet instrument on verse un peu d'eau

dans le tuyau AA jusqu'à la hauteur de 3 à 4 lignes; on y fait ensuite entrer le piston et on le pousse jusqu'au bas, en sorte que l'eau qui est au fond du tuyau regorge par le trou L. Alors on ferme le dit trou avec la verge MM, et on y met le couvercle II, qui a autant de trous qu'il en faut. Ayant ensuite mis un feu médiocre sous le tuyau AA, il s'échauffe fort vite parce qu'il n'est fait que d'une feuille de métal fort mince, et l'eau qui est dedans se changeant en vapeur fait une pression si forte qu'elle surmonte le poids de l'atmosphère et pousse le piston BB en haut, jusqu'à ce que l'échancrure H paraisse au-dessus du couvercle II, et que la verge de fer EE y soit poussée par le ressort G, ce qui ne se fait pas sans bruit. Alors, il faut incontinent éloigner le feu, et les vapeurs dans ce tuyau léger se recondensent bientôt en eau par le froid et laissent le tuyau absolument privé d'air. Alors il n'y a qu'à tourner la verge EE autant qu'il est nécessaire pour la faire sortir de l'échancrure H, et laisser le piston en liberté de descendre, et il arrive que le piston est incontinent poussé au bas par tout le poids de l'atmosphère et produit le mouvement qu'on veut, avec d'autant plus de force que le diamètre du tuyau est grand. Et il ne faut point douter que l'air n'agisse sur ces tuyaux avec toute la force dont la pesanteur est capable : car j'ai vu par expérience que le piston ayant été élevé par la chaleur jusqu'au haut du tuyau AA, est ensuite redescendu jusque tout au fond; et cela plusieurs fois de suite, en sorte qu'on ne saurait soupçonner qu'il y ait eu aucun air pour le presser en dessous et résister à la descente. Or mon tuyau qui n'a que deux pouces et demi de diamètre, est pourtant capable d'élever 60 livres à toute la hauteur dont le piston descend, et le corps du tuyau ne pèse pas 5 onces. Je ne doute pas qu'on pût faire des tuyaux qui ne pèseraient pas 40 livres, et qui pourtant pourraient élever 2000 livres, à chaque opération, jusqu'à la hauteur de 4 pieds.

J'ai éprouvé aussi que le temps d'une minute suffit pour faire qu'un feu médiocre chasse le piston jusqu'au haut de mon tuyau; et comme le feu doit être proportionné à la grandeur des tuyaux, on pourrait échauffer les gros à peu près aussi promptement que les petits. Ainsi l'on voit combien cette machine, qui est si simple, pourrait fournir de prodigieuses forces et à bon marché. Car on sait qu'une colonne d'air qui s'appuie sur un tuyau d'un pied de diamètre, pèse presque 2 000 livres; mais si le diamètre était de 2 pieds, la pesanteur serait de près de 8 000 livres, et qu'ainsi la pression s'augmente toujours en raison doublée des diamètres : d'où il s'ensuit que le feu, dans un fourneau dont le diamètre serait d'un peu plus de deux pieds, suffirait pour élever toutes les minutes 8 000 livres à la hauteur de 4 pieds, si on faisait des tuyaux de cette hauteur; car le feu étant dans un fourneau de plaques de fer peu épaisses, on pourrait facilement le pousser d'un tuyau à l'autre : et ainsi ce même feu ferait continuellement dans quelque tuyau ce vide qui pourrait ensuite produire de si grands effets. A présent, si on considère la grandeur des forces que l'on produira de cette manière et le peu que pourra coûter le bois qu'il faudra pour cela, on avouera assurément que cette méthode est de beaucoup préférable à l'usage de la poudre à canon, dont j'ai parlé ci-dessus, vu principalement que de cette manière on fait un vide parfait, et qu'ainsi on remédie aux inconvénients que j'ai marqués. (ARAGO, *Notices scientifiques*, t. II, p. 96.)

Arago s'exprime ainsi à propos de Papin et de ceux auxquels on a voulu attribuer la gloire de l'invention de la machine à vapeur : Salomon de Caus [1] et le marquis de Worcester.

« La machine de Salomon de Caus, celle du marquis de Worcester, étaient de simples appareils d'épuisement.

1. *Salomon de Caus*, ingénieur et architecte, né en Normandie en 1576, mort en 1630.

Leurs auteurs ne les avaient présentées que comme des moyens d'élever l'eau. Tel est aussi le parti principal que Papin voulait tirer de sa machine à pression atmosphérique; mais en même temps il avait parfaitement bien vu que le mouvement de va-et-vient du piston dans le corps de pompe pouvait recevoir d'autres applications et devenir un moteur universel. On trouvera en effet aux pages 58 et 59 du *Recueil* (Cassel, 1695) et déjà dans les *Acta* de 1690 une méthode propre à transformer ce mouvement alternatif en mouvement de rotation.... Donc Papin a imaginé la première machine à vapeur à piston. »

CHAPITRE II

MARIOTTE

Du chaud et du froid. — Expériences sur la chaleur.

Nous avons déjà signalé le traité *du Chaud et du Froid* de l'abbé Mariotte. Nous y ferons quelques emprunts ainsi qu'au *Traité des couleurs* et à diverses *Expériences sur la chaleur*.

Le discours *du Chaud et du Froid* (p. 184) a pour objet de faire voir que le froid n'est qu'une privation ou une diminution de chaleur, et que la plupart des lieux souterrains sont plus chauds en été qu'en hiver.

Les philosophes se plaignent que nos sens nous trompent; mais bien souvent c'est plutôt par le défaut du raisonnement que nous tombons en erreur, que par le défaut des sens; car ils ne sont pas disposés pour nous faire connaître les choses telles qu'elles sont en elles-mêmes, mais seulement telles qu'elles sont à notre égard, afin que nous puissions éviter celles qui nous sont nuisibles et nous servir de celles qui sont propres à notre conservation.

La vérité de cette hypothèse se reconnaît principalement dans le discernement du chaud et du froid. Car la plupart des choses naturelles faisant leurs fonctions par la chaleur; soit qu'elle soit interne et propre, comme celle des hommes et des autres animaux; soit qu'elle soit

externe, comme celle que les plantes reçoivent du soleil : le degré de chaleur qui leur convient ne peut être notablement augmenté ou diminué, qu'elles ne périssent. C'est pourquoi le sens de notre attouchement a dû être disposé de telle sorte, que tout ce qui excède le tempérament de notre chaleur, nous parût chaud; et que tout ce qui a moins de chaleur que nous ou qui n'en a point du tout, excitât en nous un autre sentiment et une douleur toute différente, sous l'apparence de ce que nous appelons froid; afin que nous pussions éviter les inconvénients qui arriveraient par l'augmentation ou par la diminution de notre chaleur naturelle, et nous conserver dans notre juste tempérament. Mais d'en tirer cette conséquence, que tout ce que nous sentons froid soit absolument sans chaleur, c'est une erreur très grossière; car de même que quelques animaux qui sont naturellement plus chauds que nous se tromperaient si, en nous touchant, ils nous jugeaient sans chaleur, aussi nous trompons-nous lorsque nous estimons froids absolument ceux qui ont leur tempérament de chaleur dans un degré inférieur au nôtre, et que l'eau soit entièrement sans chaleur lorsqu'elle nous paraît froide. Pour faire connaître cette vérité, qu'on mette de l'eau tiède dans quelque vaisseau, et que quelqu'un tirant sa main d'une eau presque bouillante la trempe dans cette eau tiède : il est certain qu'il la trouvera froide, quoiqu'elle ne le soit pas, et qu'il la trouverait chaude après avoir manié quelque temps de la neige. D'où il s'ensuit qu'il est impossible de déterminer par l'attouchement les bornes du chaud et du froid, c'est-à-dire de juger quand la chaleur cesse et quand le froid commence.

Que si on jette dans une cuve pleine d'eau, une poignée de sel et un verre d'eau bouillante, il est évident que l'eau de cette cuve sera salée, puisqu'il y aura du sel, et qu'elle aura de la chaleur, puisque celle de l'eau bouillante y sera mêlée réellement; et toutefois cette eau étant moins salée que notre langue, elle nous paraîtra insipide,

et nos mains étant plus chaudes, nous la trouverons froide.

Ce n'est donc pas par le sentiment du froid que nous devons juger si une chose est sans chaleur, mais par des raisonnements fondés sur d'autres principes et par les effets que la chaleur produit ordinairement. Or les principaux effets de la chaleur sont de faire croître et végéter les plantes et les animaux, de faire évaporer l'humidité qui est dans les corps et de faire fondre et rendre liquides les choses solides et grossières, comme l'or, le plomb, la cire et la glace, quoique selon divers degrés : car il faut beaucoup plus de chaleur pour faire fondre l'or et le faire couler, que pour faire couler le plomb; et il en faudra moins pour fondre la glace, que pour fondre la cire [1].

Si donc nous croyons que le coulement de la cire soit un effet de la chaleur, et qu'elle ne puisse se fondre sans être chaude, pouvons-nous douter que, lorsque la glace se fond, cette fusion ne soit aussi un effet de la chaleur, et quelle ne soit véritablement chaude lorsqu'elle est fondue?....

Pour mieux raisonner sur cette matière, il faut remarquer que la plupart des qualités qui nous semblent être contraires aux qualités actives ne sont rien en effet, mais seulement une privation ou manquement de ces qualités : ainsi les ténèbres sont une privation de la lumière, et le repos ou immobilité est une privation du mouvement, puisqu'être immobile et ténébreux n'est autre chose qu'être sans mouvement et sans lumière. Or il est aisé de juger que la qualité qui est contraire à la chaleur doit suivre la même règle, et que le froid parfait n'est autre chose qu'une privation entière de chaleur : car d'autant que le mouvement est le seul principe, ou, du moins, un des principes de la chaleur, comme on le

1. Il est curieux que Mariotte, qui se servait couramment de thermomètres à alcool, n'ait pas cité les dilatations comme l'un des effets de la chaleur, des plus propres à la mesurer. — J. G.



reconnaît par l'expérience des roues de carrosse qui s'allument en roulant violemment, et que les effets doivent être proportionnés à leurs causes, si le mouvement a pour son contraire le repos, qui est une privation, le contraire de la chaleur, qui est le froid, sera aussi une privation; et si les corps ne sont chauds que par un mouvement violent de leurs particules, il s'ensuit nécessairement que lorsque leur mouvement cesse, ils demeurent froids et sans chaleur. Mais comme l'aiguille d'une montre nous paraît sans mouvement, parce qu'elle tourne très lentement, ainsi un corps qui a fort peu de chaleur nous doit paraître comme s'il n'en avait point du tout. Et toutefois nous faisons différence de glace à glace, et de neige à neige, à l'égard de la froideur; car la neige étant sur le point de fondre, se manie aisément; mais il y en a qu'on ne peut longtemps toucher, sans souffrir un froid très sensible; et il peut y avoir de la glace tellement éloignée de notre tempérament, que si on la touchait, la main s'y attacherait. Mais, parce que la privation ne reçoit ni augmentation, ni diminution, car deux corps sans mouvement sont aussi immobiles l'un que l'autre; il est nécessaire que de ces glaces et de ces neiges, qui nous paraissent de différente froideur, les moins froides à notre sens aient un peu de chaleur, les autres un peu moins, et que celles dont le froid est excessif en soient entièrement privées, ou presque entièrement privées....

Que si on insiste, et qu'on objecte que le froid agit, puisqu'il engourdit et fait mourir les animaux, qu'il durcit les eaux et fait fendre les arbres, et que par conséquent ce n'est pas une privation : on pourra répondre que ce que nous souffrons par le froid procède de ce que notre chaleur naturelle se dissipe par l'attouchement des choses absolument froides, ou beaucoup moins chaudes que nous; car les qualités se communiquent et passent d'un sujet à l'autre, comme une boule qui roule rencon-

trant une pierre immobile lui communique une partie de son mouvement qu'elle perd....

De ces raisonnements il résulte que, s'il n'y avait ni soleil, ni feu, ni mouvement dans la nature, toutes les choses demeureraient sans lumière et sans chaleur; et alors il y aurait de la glace et de la neige véritablement froides, comme il y en a peut-être sous les pôles, lorsque le soleil a été cinq ou six mois sans y luire....

Il faut remarquer ici [1] que la lumière et la chaleur du soleil passent avec une égale facilité à travers le verre et les autres corps transparents; ce qu'on peut observer en mettant une glace de verre sur un petit miroir concave de métal exposé au soleil : car il fera un semblable effet à peu près dans son foyer pour mettre le feu, comme s'il n'y avait point de verre; et la différence sera seulement d'environ une cinquième partie, qui est à peu près ce que la lumière perd par les réflexions qui se font sur les surfaces du verre en passant et repassant. Mais il n'en est pas de même de la chaleur du feu et de sa lumière : car sa lumière passe facilement à travers le verre, et sa chaleur n'y passe point, ou bien il en passe très peu; vous en pourrez faire l'expérience en cette sorte :

Servez-vous du même petit miroir concave, et le tenez à deux ou trois piés de distance d'un assez grand feu; faites réfléchir sa lumière sur quelque endroit de votre main, de manière qu'elle s'y réunisse : vous sentirez une chaleur telle que vous ne la pourrez souffrir que très peu de temps; couvrez ensuite votre miroir avec la même glace qui aura servi pour le soleil, et recevez de même sur votre main la lumière du feu réunie : elle vous paraîtra presque aussi claire que quand le verre n'y est pas, mais vous ne sentirez aucune chaleur, et quand même vous approcheriez le miroir à un pied de distance du feu, il ne fera aucun effet sensible de chaleur, quoique la lumière

1. MARIOTTE, *Traité des couleurs* (Œuvres, éd. de Leyde, 1717, p. 288).

réunie soit alors plus claire que quand le miroir est éloigné de 2 ou 3 piés du feu, le verre étant ôté.

On voit aussi par expérience qu'un grand feu de charbon, dont la chaleur est rouge, donne moins de clarté pour lire qu'une chandelle allumée, quoiqu'il donne plus de chaleur que 30 ou 40 chandelles. De là vient apparemment que la lumière très subtile du bois pourri et des vers luisants peut agir sur les yeux, et qu'elle ne fait aucune chaleur à la main, parce que son action n'est pas assez forte pour ébranler les nerfs du toucher.

Nous avons vu que Mariotte avait parfaitement observé le phénomène de la dissolution de l'air dans l'eau; il avait remarqué que cet air se dégage quand l'eau se congèle; ce phénomène paraît l'avoir singulièrement préoccupé, il y revient en effet dans des expériences publiées par lui sur la congélation de l'eau, et il lui attribue l'augmentation de volume et la rupture des morceaux de glace au moment de la congélation.

Comme les esprits du vin nouveau, dit-il, étant séparés de la matière grossière du vin se mettent en mouvement, font sortir le vin par le bondon et rompent le tonneau si on ne leur donne passage; ainsi cette matière aérienne en se dilatant fait sortir l'eau par le petit trou qui demeure ouvert, et lorsque ce trou est bouché, elle rompt la glace qui la tient trop pressée.

La dernière expérience a pour objet la préparation de *miroirs* ardents avec de la glace. Mais il est facile de voir par les détails de l'expérience, qu'en réalité il ne s'agit pas de miroirs mais de lentilles biconvexes de glace, avec lesquelles Mariotte put enflammer de la poudre.

Plusieurs personnes, dit-il, ont tâché de faire des miroirs ardents avec de la glace : mais il est difficile d'y réussir, parce que d'ordinaire la glace n'est pas parfaitement transparente. Cependant, ayant jugé par les expé-

riences précédentes que si l'on faisait sortir la matière aérienne qui est dans l'eau avant que de l'exposer à la gelée, on pourrait avoir de la glace très pure, j'en voulus faire l'essai. Je fis donc bouillir de l'eau nette sur le feu environ l'espace d'une demi-heure pour faire évaporer la matière aérienne, et je l'exposai ensuite à un air très froid.

Il obtint ainsi de la glace parfaitement transparente.

Je mis un morceau de cette glace dans un petit vaisseau concave sphérique et ayant approché ce vaisseau du feu, je fis fondre peu à peu la glace d'un côté jusqu'à ce qu'elle eût pris une figure convexe sphérique. J'en fis autant de l'autre côté, retournant souvent la glace, et versant l'eau de temps en temps à mesure que la glace se fondait. Lorsque la glace eut une figure convexe assez uniforme, je la pris par les deux bords avec un gant, afin que la chaleur de la main ne la fît pas sitôt fondre, et je l'exposai au soleil. Cette expérience eut le succès que j'attendais. Car en fort peu de temps par le moyen de cette glace je mis le feu à de la poudre fine que j'avais placée au foyer ou point brûlant où les rayons se réunissent. Il est vrai que, quelque soin que l'on prenne, il est impossible de faire évaporer de l'eau toute la matière aérienne et d'empêcher qu'il ne se forme quelques bulles dans le milieu de la glace; mais on en a toujours une épaisseur considérable qui est parfaitement transparente. (MARIOTTE, *Œuvres*. Ed. de Leyde, 1717, p. 607.)

CHAPITRE III

LA THÉORIE MÉCANIQUE DE LA CHALEUR.

On a vu par les citations de Mariotte (p. 168 et 185) combien sont anciennes les premières notions sur ce qu'on appelle aujourd'hui la *Théorie mécanique de la chaleur*.

Nous donnerons ici une partie du célèbre mémoire sur la chaleur de Lavoisier [1] et Laplace, lu à l'Académie des sciences en 1780; puis quelques pages empruntées à l'éloge du comte de Rumfort par Dumas; et enfin nous citerons plusieurs passages des leçons, restées célèbres, sur la Théorie mécanique de la chaleur, professées par Verdet [2] à la Société chimique de Paris, en 1862. Le lecteur pourra suivre ainsi de Mariotte à Verdet le développement de cette théorie, l'une des grandes conquêtes scientifiques du XIXe siècle.

Les physiciens sont partagés sur la nature de la chaleur. Plusieurs d'entre eux la regardent comme un fluide répandu dans toute la nature, et dont les corps sont plus ou moins pénétrés, à raison de leur température et de leur disposition particulière à le retenir; il peut se com-

1. Voir plus loin, p. 477, la Notice sur Lavoisier.
2. *Émile Verdet*, né à Nîmes en 1824; élève de l'École normale supérieure en 1842; mort en 1866, à l'âge de quarante-deux ans, professeur à l'École normale et à l'École polytechnique. Ses leçons, recueillies par ses élèves et jointes à ses mémoires personnels, forment un traité remarquable et à peu près complet de physique. Paris, Masson, 8 vol. in-8. — J. G.

biner avec eux, et, dans cet état, il cesse d'agir sur le thermomètre et de se communiquer d'un corps à l'autre; ce n'est que dans l'état de liberté, qui lui permet de se mettre en équilibre dans les corps, qu'il forme ce que nous nommons *chaleur libre*.

D'autres physiciens pensent que la chaleur n'est que le résultat des mouvements insensibles des molécules de la matière. On sait que les corps, même les plus denses, sont remplis d'un grand nombre de pores et de petits vides, dont le volume peut surpasser considérablement celui de la matière qu'ils renferment; ces espaces vides laissent à leurs parties insensibles la liberté d'osciller dans tous les sens, et il est naturel de penser que ces parties sont dans une agitation continuelle, qui, si elle augmente jusqu'à un certain point, peut les désunir et décomposer les corps; c'est ce mouvement qui, suivant les physiciens dont nous parlons, constitue la chaleur.

Pour développer cette hypothèse, nous ferons observer que, dans tous les mouvements dans lesquels il n'y a point de changements brusques, il existe une loi générale que les géomètres ont désignée sous le nom de *principe de la conservation des forces vives*; cette loi consiste en ce que, dans un système de corps qui agissent les uns sur les autres d'une manière quelconque, la force vive, c'est-à-dire la somme des produits de chaque masse par le carré de la vitesse, est constante. Si les corps sont animés par des forces accélératrices, la force vive est égale à ce qu'elle était à l'origine du mouvement, plus à la somme des masses multipliées par les carrés des vitesses dues à l'action des forces accélératrices. Dans l'hypothèse que nous examinons, la chaleur est la force vive qui résulte des mouvements insensibles des molécules d'un corps; elle est la somme des produits de la masse de chaque molécule par le carré de sa vitesse.

Si l'on met en contact deux corps dont la température soit différente, les quantités de mouvement qu'ils se com-

muniqueront réciproquement seront d'abord inégales; la force vive du plus froid augmentera de la même quantité dont la force vive de l'autre diminuera, et cette augmentation aura lieu jusqu'à ce que les quantités de mouvement communiquées de part et d'autre soient égales; dans cet état la température des corps sera parvenue à l'uniformité....

Si dans une combinaison ou dans un changement d'état quelconque, il y a une diminution de chaleur libre, cette chaleur reparaîtra tout entière lorsque les substances reviendront à leur premier état, et, réciproquement, si, dans la combinaison ou dans le changement d'état, il y a une augmentation de chaleur libre, cette nouvelle chaleur disparaîtra dans le retour des substances à leur état primitif.

Ce principe est, d'ailleurs, confirmé par l'expérience, et la détonation du nitre nous en fournira dans la suite une preuve sensible. On peut le généraliser encore et l'étendre à tous les phénomènes de la chaleur de la manière suivante. *Toutes les variations de chaleur soit réelles, soit apparentes, qu'éprouve un système de corps, en changeant d'état, se reproduisent dans un ordre inverse, lorsque le système repasse à son premier état* [1]. Ainsi les changements de la glace en eau et de l'eau en vapeurs font disparaître, au thermomètre, une quantité très considérable de chaleur, qui reparaît dans le changement de l'eau en glace et dans la condensation des vapeurs. En général, on fera rentrer la première hypothèse dans la seconde, en y changeant les mots de *chaleur libre*, *chaleur combinée* et *chaleur dégagée*, dans ceux de *force vive*, *perte de force*

1. Si Lavoisier et Laplace, fait remarquer Verdet (*Œuvres*, t. VII, p. XCIII), avaient ajouté que cette égalité a lieu seulement lorsque les changements d'état ne sont accompagnés d'aucun travail extérieur, la théorie mécanique de la chaleur eût été fondée; mais, sans ce complément, leur assertion est une erreur démentie tous les jours par le jeu de la machine à vapeur ou de la machine électro-magnétique.

vive et *augmentation de force vive*. (*Mémoire sur la chaleur*, par MM. Lavoisier et de Laplace, présenté à l'Académie des sciences en 1780. — Lavoisier, *Œuvres*, t. II, p. 285.)

Rumford.

Sir Benjamin Thomson, comte de Rumford, naquit en 1753 dans l'Amérique du Nord (New-Hampshire), où sa famille, d'origine anglaise, était établie depuis longtemps.

La guerre de l'indépendance ayant éclaté, Rumford suivit la cause royaliste, et il rentra en Angleterre en 1783 avec le grade de colonel. Après la signature de la paix, il obtint l'autorisation de passer au service du prince Maximilien des Deux-Ponts, électeur de Bavière, qu'il avait rencontré à Strasbourg. Il remplit à Munich pendant une dizaine d'années les fonctions les plus élevées, menant de front avec une activité et une puissance de travail singulières les études les plus diverses, de physique, d'économie politique et sociale, d'administration, d'hygiène, etc. Ses diverses institutions philanthropiques mériteraient d'être étudiées avec soin. C'est à la fonderie de canons de Munich qu'il fit les célèbres expériences qui ont donné la première base solide à la théorie mécanique de la chaleur. Il quitta définitivement la Bavière vers 1805 et vint habiter Paris. « Il jouissait, dans le public, d'une grande popularité scientifique, dit M. Guizot [1]. Son esprit était élevé, sa conversation pleine d'intérêt, ses manières empreintes de bonté. Il plut à Mme Lavoisier..... Elle l'épousa le 22 octobre 1805. » Cette union ne fut pas heureuse et aboutit à une séparation à l'amiable, en 1809. Le comte de Rumford mourut en 1814. — On voit par quelle singulière destinée les noms des deux fondateurs de la théorie mécanique de la chaleur se sont trouvés associés.

Les mémoires scientifiques du comte de Rumford ont été publiés dans les *Transactions philosophiques*, de la Société Royale de Londres. Il en faisait partie depuis 1778.

M. Dumas lui a consacré dans le *Journal des Savants* (1881-82)

1. Guizot, *Notice sur Mme Lavoisier de Rumford*. Ecrite en 1841, reproduite dans le tome II des *Mémoires pour servir à l'histoire de mon temps*, p. 397-423. — J. G.

une notice très intéressante. Elle a été reproduite dans le tome II des *Discours et Éloges académiques*. Nous y faisons quelques emprunts.

Dans les premières années du siècle, Rumford était considéré seulement comme un habile expérimentateur et comme l'inventeur heureux de quelques appareils économiques; aujourd'hui on rend une justice plus haute à ses travaux scientifiques et on ne lui conteste pas l'honneur d'avoir décidé la question si controversée de la véritable nature de la chaleur. Longtemps avant que les admirables recherches de Fresnel eussent conduit à abandonner la théorie de l'émission, relativement à la lumière, et à donner la préférence à la théorie des ondulations, Rumford avait prouvé que la chaleur n'est pas une matière impondérable, comme on disait alors, mais un mouvement vibratoire excité parmi les particules dont les corps sont formés.

Rumford n'a pas inventé la théorie de la chaleur considérée comme un mouvement, mais il a démontré par des expériences irréfutables que cette théorie était la vraie et qu'elle seule pouvait expliquer les phénomènes qu'il signalait à l'attention des physiciens. Ces phénomènes sont d'ailleurs d'une telle clarté, que lorsqu'il s'agit de mettre en évidence encore aujourd'hui les rapports existant entre le travail mécanique et la chaleur, c'est à l'expérience de Rumford qu'on a recours.

Cette expérience était pourtant connue de toute antiquité. Les peuplades les plus sauvages savent la mettre à profit. Deux solides frottés l'un contre l'autre s'échauffent, et, s'il s'agit de deux morceaux de bois sec, leur température s'élève au point de déterminer leur inflammation. Une roue en bois tournant sur son essieu mal graissé s'échauffe de même et prend feu. S'agit-il d'un axe métallique tournant à sec dans une cavité également métallique, leur température s'élève au point de les ramollir, d'en effectuer la soudure et d'en arrêter le mouvement.

On connaissait donc de toute antiquité cette propriété des corps solides frottant l'un sur l'autre; on savait qu'ils s'échauffaient et même beaucoup ; cependant on n'en avait pas tiré la conséquence qu'il appartenait à Rumford d'en faire sortir : c'est-à-dire la transformation du travail mécanique en chaleur. A l'âge de dix-sept ans, le traité de Boerhaave sur le feu avait déjà vivement excité son attention. La chaleur, depuis cette époque, ne cessa jamais de l'occuper, et, lorsque des devoirs pressants le détournaient de cette étude, il ne manquait pas de la reprendre aussitôt que son esprit était rendu à la liberté. Dès sa jeunesse également, il avait acquis la conviction que la chaleur ne se propageait pas par émission, mais par vibration, à la manière du son. Son opinion s'était faite en examinant les résultats produits par l'explosion de la poudre dans un canon de fusil librement suspendu dans l'air et chargé alternativement à poudre et à balle. Le canon s'échauffait beaucoup quand la poudre détonait sans produire de travail, et bien moins quand elle déterminait le déplacement et le jet de la balle.

Ce n'est que vingt ans plus tard qu'il eut l'occasion de donner à ces résultats encore indécis toute la rigueur d'une démonstration concluante. L'expérience effectuée dans l'arsenal de Munich est demeurée classique ; elle marque une date importante dans la marche de la philosophie naturelle.

Un canon étant soumis à l'opération du forage s'échauffe, et les copeaux détachés de sa masse possèdent une température qui s'élève au delà de celle de l'eau bouillante. En faisant agir un foret obtus sur le fond d'un cylindre creux de bronze, à raison de trente-deux tours par minute, sous une pression de cinq tonnes, non seulement le métal atteignit cette température, mais près de 10 kilogrammes d'eau placés dans la cavité s'échauffèrent au point d'entrer en pleine ébullition au bout de deux heures et demie.

« Il serait difficile, raconte Rumford, de peindre la sur-

prise des spectateurs à la vue d'une quantité d'eau si considérable amenée à bouillir sans feu; et quoiqu'il n'y eût, dans le fait, rien qui dût réellement étonner, j'avoue franchement, ajoute-t-il, que ce phénomène me causa une joie presque enfantine, que j'aurais dû cacher si j'aspirais à la réputation d'un grave philosophe. Non seulement la masse d'eau avait été portée à l'ébullition, mais le cylindre de bronze et l'axe du foret, représentant ensemble près de 60 kilogrammes de métal, avaient acquis la température de 100 degrés. »

D'où venait cette grande quantité de chaleur fournie en torrent continu dans toutes les directions, sans interruption ou intermittence et sans aucun signe de diminution ou d'épuisement?

Elle ne venait ni de l'air, ni de l'eau, ni d'un changement dans la nature du métal. Rumford conclut donc qu'on ne peut pas considérer comme une substance matérielle cette chaleur susceptible d'être fournie indéfiniment par un système de corps isolés, et que le mouvement seul donne une idée distincte de cette élévation de température excitée, et communiquée aux masses soumises à l'expérience.

Eh bien, cette démonstration à laquelle il n'y a rien à reprocher, et que l'on considère aujourd'hui comme absolument irréfutable, ne fut pas acceptée par les contemporains....

Et plus loin :

On accuse assez ordinairement la science de tarir les sources de la poésie. Pour être convaincu du contraire, il suffirait de lire le chapitre III du septième Essai de Rumford, qui n'a jamais passé pour un esprit prompt aux entraînements. Pourquoi, de tous les liquides connus, l'eau jouit-elle seule de la propriété de se dilater quand elle se refroidit en s'approchant du terme de la congéla-

tion? Pourquoi la glace est-elle plus légère que l'eau? Pourquoi l'eau salée n'a-t-elle plus la propriété de se dilater en se refroidissant? Pourquoi les liquides visqueux, tels que la sève des plantes et le sang des animaux, se meuvent-ils plus lentement que l'eau pure, s'échauffant ou se refroidissant moins vite qu'elle? Pourquoi l'écorce spongieuse des arbres transmet-elle difficilement la chaleur? Pourquoi la neige, également spongieuse, couvre-t-elle le sol d'un manteau qui le préserve des grands froids et qui en protège la végétation durant les hivers rigoureux?

L'esprit religieux de l'auteur trouve dans toutes ces circonstances spéciales à la constitution de l'eau sous ses diverses formes l'occasion naturelle de faire éclater son enthousiasme, d'admirer par quels moyens simples le Créateur a pourvu à la conservation de la vie animale, rendu plus habitables les régions voisines des pôles en y transportant par des courants réguliers les eaux des mers chauffées et dilatées sous l'équateur, et tempéré les pays qu'un soleil toujours ardent éclaire, en y ramenant les eaux froides provenant de la fonte des glaces polaires.

Pour rendre très lent le refroidissement de l'eau vers le terme de la congélation, il a suffi de lui assigner, au moment où il va l'atteindre, un maximum de densité qui tend à immobiliser ses molécules; pour assurer la circulation de l'eau chaude partant de l'équateur et de l'eau froide revenant des pôles, il a suffi de dépouiller l'eau salée de cette propriété et de rendre sa condensation continue jusqu'au moment où la glace s'en sépare; enfin, s'il est nécessaire au maintien de la vie que les continents, les lacs et les rivières soient mis à l'abri des rigueurs des vents des pôles et que le déluge d'air froid qui s'en écoulerait soit réchauffé, ce sont les eaux salées de l'Océan qui rendent ce service par l'immense quantité de chaleur qu'elles emmagasinent, « et il y a bien lieu de croire qu'elles ont été *préparées à cet effet*, ajoute Rumford. Si

la crainte d'un Dieu tend à adoucir les mœurs, la conviction de l'*existence d'une intelligence suprême*, qui gouverne l'Univers avec sagesse et bonté, insiste-t-il en terminant, n'est pas moins nécessaire à ceux qui, cultivant leur intelligence, *ont appris combien de choses ils ignorent encore*. »

Laplace mourant disait à ses amis en pleurs, lui rappelant ses travaux et sa gloire : *Ce que nous savons est peu de chose*, et ce furent ses dernières paroles.

Coïncidence étrange dans cette conclusion identique tirée, d'un côté, par un esprit religieux admirant, dans les propriétés les plus minutieuses et les plus cachées de la matière, la profondeur des desseins de la nature, c'est-à-dire les causes finales, et, de l'autre, par le grand géomètre élevé à l'école philosophique du XVIII[e] siècle, qui, ayant mis en évidence les lois faites pour assurer l'ordre et la stabilité de l'Univers, découvre, par une synthèse puissante, la marche de la création des mondes, et fournit aux matérialistes leurs plus spécieux arguments, sans partager leurs convictions. (DUMAS, *Discours et Éloges académiques*, t. II, p. 242.)

Verdet.

Dans les trois genres de machines [1] que nous venons d'étudier, nous avons vu la puissance motrice naître d'une consommation de chaleur; mais cette chaleur elle-même d'où vient-elle, sinon du travail des forces chimiques? Dans la machine à vapeur et dans la machine à air, on laisse les affinités qui sont en jeu dans la combustion développer librement toute la chaleur qu'elles sont capables de produire, et c'est en appliquant cette chaleur à faire naître une série de phénomènes physiques, où elle

1. Les machines à vapeur, les machines à gaz et les machines magnéto-électriques.

s'anéantit en partie, qu'on obtient un travail mécanique. Dans la machine électro-magnétique, la transformation est directe; l'effet proprement calorifique d'une somme déterminée d'actions chimiques est diminué, par la réaction connue sous le nom d'*induction* d'une quantité précisément équivalente à l'effet mécanique réalisé. Mais cette différence ne peut nous empêcher de reconnaître l'identité fondamentale des trois ordres de phénomènes et d'affirmer que, dans tous les cas, la puissance motrice n'est qu'une transformation médiate ou immédiate des affinités. Ces forces mystérieuses qui semblaient échapper à toute mesure précise, rentrent ainsi sous l'empire de la mécanique générale et deviennent accessibles aux évaluations numériques. Sans doute on ne peut mesurer leur grandeur propre, c'est-à-dire déterminer les accélérations qu'elles communiquent en un temps donné aux atomes qu'elles sollicitent; mais leur travail dans la formation ou la destruction d'une combinaison quelconque peut s'apprécier aujourd'hui avec la même certitude et la même précision que le travail d'une chute d'eau. Soient, par exemple, 1 gramme d'hydrogène et 8 grammes d'oxygène, à une température déterminée; unissons-les par l'action d'une des causes qui ont la faculté de provoquer la combinaison des deux gaz, et ramenons à la température primitive les 9 grammes de vapeur d'eau ainsi formés. La quantité totale de chaleur qui aura été cédée aux corps extérieurs pendant la suite de ces transformations, multipliée par l'équivalent mécanique de la chaleur, sera l'expression exacte du travail des affinités, pourvu toutefois que le phénomène de la combinaison n'ait été accompagné d'aucun développement de travail extérieur, d'aucune communication de force vive à des corps étrangers, d'aucune création de force vive sensible dans les corps eux-mêmes qui prennent part à l'action chimique. Le cas d'une explosion suivie d'effets mécaniques se trouve ainsi formellement exclu. Vous

comprenez d'ailleurs que cette restriction est indispensable, car la machine électro-magnétique vous a montré un exemple d'une quantité constante de travail chimique qui dégage une quantité variable de chaleur, suivant qu'il y a ou qu'il n'y a pas en même temps production d'un travail mécanique.

Je n'ai pas besoin de faire ressortir à vos yeux l'importance que ce nouveau point de vue donne aux recherches thermo-chimiques; elles sont comme le trait d'union de la chimie avec la mécanique générale. Et ce n'est pas là une de ces remarques vagues et stériles, comme on en a pu faire de tout temps sur l'empire universel des lois de la mécanique, sur la réduction de tout phénomène à un mouvement; on peut donner des exemples de phénomènes chimiques qui sont dès aujourd'hui clairement explicables par des considérations mécaniques. Nous allons en trouver dans cette branche de la chimie connue sous le nom d'électro-chimie, que l'on considère à bon droit comme appartenant également à la chimie et à la physique.

Vous savez qu'un courant électrique, traversant un corps composé conducteur, le décompose toujours; vous savez aussi qu'une action chimique qui a lieu entre des corps conducteurs faisant partie d'un circuit fermé donne toujours naissance à un courant. Il en résulte, à ce qu'il semble, que si l'on fait communiquer les deux pôles d'un élément voltaïque quelconque avec deux fils de platine plongés dans un composé liquide conducteur quelconque, il y aura toujours décomposition. En fait, rien n'est moins exact que cette conclusion. La décomposition de l'eau, par exemple, est impossible à effectuer par l'action d'un seul élément voltaïque formé d'une lame de zinc, d'une lame de platine ou de cuivre, et d'eau acidulée par l'acide sulfurique. On a beau rendre aussi conductrice qu'il est possible l'eau interposée dans le circuit, en y ajoutant la proportion d'acide qui paraît la plus convenable dans les

cas ordinaires, la décomposition n'a pas lieu, aucun courant sensible ne traverse l'appareil. Ce phénomène a longtemps paru incompréhensible, mais il est facile de voir qu'il y a impossibilité mécanique à ce que les éléments de l'eau se séparent l'un de l'autre dans ces circonstances, le travail négatif des affinités chimiques dans cette séparation étant supérieur au travail positif des affinités qui agissent dans l'élément. Les expériences calorimétriques donnent en effet la mesure de l'un et de l'autre travail. On sait que la dissolution d'un équivalent de zinc dans l'acide sulfurique très étendu dégage 18 680 unités de chaleur. D'autre part, la combustion d'un équivalent d'hydrogène dégage 34 460 unités de chaleur et il est clair que dans le voltamètre à eau acidulée, le travail négatif des affinités chimiques est précisément égal et contraire au travail positif des mêmes affinités dans un appareil à combustion d'hydrogène. Si donc on suppose que, conformément aux lois de l'électro-chimie, chaque équivalent de zinc qui se dissout dans l'élément voltaïque détermine la décomposition d'un équivalent d'eau dans le voltamètre, et qu'en outre on tienne compte de la chaleur dégagée par le courant dans le circuit, on aura dans le système en repos un travail négatif supérieur au travail positif, et en même temps une création de chaleur, c'est-à-dire de force vive, absurdité mécanique dont l'évidence nous fait comprendre pourquoi la décomposition n'a pas lieu. Cette remarquable explication est due à M. Favre....

*
* *

Ce ne sont pas seulement nos machines qui empruntent leur puissance motrice au travail des affinités chimiques. La puissance motrice des animaux, la nôtre n'ont pas d'autre origine. La respiration, je veux dire l'ensemble des réactions chimiques qui s'opèrent entre l'atmosphère extérieure et l'organisme d'un être animé, n'a pas seu-

lement pour objet l'entretien d'une température constante, la destruction et l'élimination des matériaux hors d'usage dont il faut que le corps se débarrasse, elle est encore la source de la faculté que l'être animé possède de déplacer le centre de gravité d'un corps extérieur ou son propre centre de gravité en prenant un point d'appui. Quelque complexe que soit le détail de ces réactions chimiques, leur résultat définitif est conforme à la tendance naturelle des affinités. C'est une production continuelle d'eau et d'acide carbonique aux dépens de l'hydrogène et du carbone qui existent, soit dans le corps, soit dans les aliments à des états naturels de combinaison où leurs affinités pour l'oxygène sont bien loin d'être saturées. Le travail des forces chimiques dans la respiration est donc bien évidemment positif. Lorsque l'animal est en repos, ce travail a pour équivalent la quantité de chaleur que l'animal dégage incessamment pour compenser la perte de chaleur due au rayonnement, au contact de l'air et à l'évaporation. Lorsque l'animal est en mouvement, une portion du travail des affinités chimiques a pour équivalent le travail effectué par ce mouvement; le reste seulement se convertit en chaleur, et par conséquent à une même somme d'actions chimiques produites dans l'intérieur de l'organisme, doit répondre un dégagement de chaleur moindre dans l'état de mouvement que dans l'état de repos.

Ces idées introduites pour la première fois dans la science en 1845, par Jules-Robert Mayer[1], font faire à la physiologie générale un progrès assurément égal au progrès qui est résulté, vers la fin du siècle dernier, des découvertes de Lavoisier et de Senebier sur la respiration. Elles ne sont pas d'ailleurs demeurées à l'état de pure théorie, et deux séries distinctes d'expériences les

1. Dans sa brochure intitulée, *le Mouvement organique et la Nutrition* (*Die organische Bewegung und der Stoffwechsel.* — Heilbronn, 1845).

ont déjà confirmées de la manière la plus remarquable. La première est due à M. Hirn. Elle a consisté à renfermer dans un espace clos un homme qui demeurait d'abord en repos pendant un certain temps, et exécutait ensuite un travail en élevant sans cesse son propre corps sur la circonférence d'une roue mobile, et à observer dans les deux cas les effets calorifiques et chimiques de la respiration. On a mesuré à la fois la chaleur dégagée et l'acide carbonique expiré, et le rapport de la première quantité à la seconde a été moindre dans l'état de mouvement que dans l'état de repos. Ainsi une quantité donnée d'action chimique respiratoire dégage moins de chaleur lorsque le sujet de l'expérience effectue un travail que lorsqu'il demeure immobile. La différence est même pour chaque individu à peu près proportionnelle au travail. Mais les conditions des expériences sont trop complexes, les changements matériels qui peuvent survenir dans le corps sont trop difficiles à apprécier pour essayer, comme l'a fait M. Hirn, d'obtenir par cette voie une détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur.

M. Béclard a envisagé la question d'une autre manière, et démontré que la chaleur se convertit en travail dans l'organisme, par une expérience qui est à la portée de quiconque possède un bon thermomètre à mercure. Par la simple application d'un instrument de ce genre sur les muscles du bras, il a reconnu que la chaleur dégagée pendant la contraction musculaire est diminuée toutes les fois que cette contraction effectue un travail extérieur, toutes les fois que les muscles en se contractant soulèvent un poids; que cette chaleur, au contraire, augmente toutes les fois que les muscles soutiennent un poids qui tombe en obéissant à l'action de la pesanteur et qui exécute ainsi un travail positif.

Les résultats de ces deux séries d'expériences sont au nombre des plus précieux dont la physiologie expéri-

mentale se soit enrichie dans ces derniers temps. Il est bien clair d'ailleurs qu'ils ne contredisent en aucune façon les données de l'expérience vulgaire sur l'échauffement qui accompagne tout exercice corporel. La contraction musculaire augmente incontestablement la chaleur dégagée par l'organisme en un temps donné, mais elle augmente aussi la combustion respiratoire, ainsi que le prouverait, à défaut d'expériences directes, le besoin d'aliments consécutif à l'exercice. Les recherches de M. Hirn et de M. Béclard font voir simplement que, conformément à la théorie de Mayer, la combustion augmente dans un rapport plus grand que la chaleur produite.

Ainsi tout animal, tout être doué de mouvement volontaire, se montre à nous non seulement comme un appareil de combustion, mais comme une machine thermique. Chacun de ses mouvements n'est qu'une conversion partielle en travail mécanique de la chaleur fournie par la combustion, comparable à celle qui a lieu dans une machine électro-magnétique. S'il peut à volonté augmenter la somme des forces vives qui, à un instant donné, existent autour de lui, ce n'est qu'à la condition de diminuer d'une quantité précisément égale la somme des forces vives calorifiques qui tendent à développer les actions chimiques dont ses propres tissus sont le siège. A vrai dire, il n'a qu'un pouvoir de direction sur les forces vives que crée en lui le travail incessant des affinités chimiques, et, pour rendre sensible la vraie nature de ce pouvoir, je ne saurais mieux faire que d'emprunter à Mayer la comparaison de l'action de la volonté sur le corps avec l'action du pilote sur le bateau à vapeur qu'il dirige, sans être la cause physique qui le fait marcher.

« Les mouvements du bateau à vapeur, dit Mayer, obéissent à la volonté du pilote et du machiniste. Mais l'influence spirituelle (*der geistige Einfluss*), sans laquelle

le navire irait en sortant du port se briser sur l'écueil le plus voisin, ne fait que conduire, elle ne meut pas. Pour mouvoir, une force physique est indispensable, celle du charbon qui brûle sous la chaudière. Sans cette force, quelque énergique que soit la volonté de ses conducteurs, le navire demeure immobile, il est mort[1]. »

*
* *

Le règne végétal nous offre un spectacle bien différent. Dans les végétaux supérieurs au moins, le résultat définitif de la vie est contraire aux affinités chimiques. Sous l'empire de conditions qui tendent toutes à transformer les matières hydro-carbonées en acide carbonique et en eau, les végétaux supérieurs ne cessent d'augmenter la quantité de ces matières déjà existante. Il s'accomplit donc, en définitive, dans leur intérieur un travail négatif des affinités; et l'ignorance où nous sommes encore du mécanisme de la vie végétale ne doit pas nous empêcher d'accorder à cette conclusion une confiance absolue, car elle n'est, après tout, que la formule de ce qui se passe dans une forêt ou une prairie qui ne reçoivent aucun engrais et qui reproduisent tous les ans le bois ou le fourrage qu'on leur enlève. Mais ce triomphe continuel du règne végétal sur la résistance des affinités chimiques, ne peut être obtenu que par une consommation équivalente de forces vives ou de chaleur. De là l'indispensable nécessité de l'action solaire directe ou indirecte à toute végétation qui n'est pas celle d'une plante infusoire ou parasite. Ni la réfrangibilité particulière des rayons solaires qui sont reconnus les plus favorables à la végétation, ni la faiblesse de leur action thermométrique, qui tient peut-être plus qu'on ne croit à ce qu'ils

1. *Le Mouvement organique et la Nutrition*, p. 54.

sont mal absorbés par la surface de nos instruments, même enduits de noir de fumée, ne les distinguent essentiellement des rayons auxquels on réserve d'ordinaire le nom de rayons de chaleur. Ce que les plantes reçoivent du soleil, ce qu'elles absorbent, c'est de la chaleur, c'est la force vive d'un mouvement ondulatoire qui ne diffère que par sa période et son amplitude des mouvements les plus propres à agir sur nos thermomètres. C'est en consommant cette force vive qu'elles peuvent augmenter la quantité de matières combustibles qui existe à la surface de notre planète.

En brûlant les produits de la végétation, nous ne faisons que régénérer cette force vive calorifique. C'est donc par une transformation de l'action solaire que s'engendrent le seul combustible dont fasse usage encore aujourd'hui la plus grande partie de la race humaine et les plantes alimentaires où les animaux et nous-mêmes nous puisons toute notre force motrice. C'est par une transformation semblable que s'est engendré autrefois tout le combustible, maintenant fossile, qui est devenu l'aliment principal de notre industrie. Si vous songez de plus que c'est le soleil qui fait souffler le vent, qui évapore l'eau des mers et donne ainsi naissance à la pluie et aux eaux courantes, vous reconnaîtrez qu'en dehors du mouvement des marées tout mouvement produit à la surface de la terre a pour cause directe ou indirecte la chaleur du soleil. Si l'on voulait absolument se procurer une puissance motrice qui n'eût pas cette origine, il n'y aurait guère d'autre moyen que de brûler sous la chaudière d'une machine à vapeur du soufre natif ou du fer météorique.

*
* *

Cette belle harmonie naturelle porte notre attention sur le centre de notre système planétaire et nous amène

à l'étude des applications astronomiques de la nouvelle théorie.

Vous connaissez tous l'hypothèse par laquelle Buffon a essayé d'expliquer comment s'entretient la chaleur solaire. Suivant ce grand naturaliste ce sont les comètes qui, en tombant sur la surface du soleil, fourniraient sans cesse de nouveaux matériaux à sa combustion. A mesure qu'on a mieux observé le mouvement des comètes et qu'on a cessé de voir dans le soleil un foyer de combustion semblable à nos sources de chaleur artificielles, on a de plus en plus oublié l'hypothèse de Buffon. La théorie mécanique de la chaleur l'a renouvelée sous une autre forme et pour ainsi dire rajeunie. Mayer a fait remarquer le premier qu'un corps quelconque qui arrive à la surface du soleil perd, au moment du choc, l'énorme quantité de force vive que lui a communiquée l'action de la gravitation, et que cette perte de force vive a pour conséquence un dégagement de chaleur. Pour restituer au soleil toute la chaleur qu'il rayonne dans l'espace, il suffit donc que sa masse s'accroisse continuellement par une chute de comètes, d'aérolithes ou de toute autre matière cosmique. M. William Thomson, qui a poursuivi avec autant de pénétration que de hardiesse le développement des idées de Mayer, a indiqué, comme l'origine la plus probable de la matière qui vient échauffer le soleil en s'y incorporant, cette immense nébulosité circumsolaire que les astronomes connaissent sous le nom de *lumière zodiacale*. En admettant cette origine, il a pu calculer la quantité de matière qui devrait tomber chaque année sur le soleil pour compenser la déperdition calorifique que l'on peut déduire des expériences de M. Pouillet sur les effets thermométriques du rayonnement solaire. Ramenée à la densité moyenne du soleil, toute cette matière formerait à sa surface une couche de 20 mètres d'épaisseur seulement. Une épaisseur moindre encore serait suffisante si on supposait, avec M. Waterston,

que la matière qui vient s'incorporer au soleil fût empruntée indifféremment à toutes les régions de l'espace. Dans l'un et dans l'autre cas, il n'en résulterait qu'un accroissement de diamètre insensible à l'observation la plus délicate pendant de longues années. Dans l'hypothèse même de M. Thomson, il ne faudrait pas moins de 40 siècles pour que l'angle visuel sous lequel le globe solaire nous apparaît fût augmenté de $\frac{1}{10}$ de seconde. Mais une autre conséquence de l'hypothèse pourra être soumise plus facilement au contrôle de l'expérience. Le soleil tourne sur son axe de manière à accomplir une révolution entière en vingt-cinq jours à peu près. Toute matière étrangère qui vient s'unir à sa masse diminue sa vitesse de rotation, particulièrement si elle se fixe à la surface, c'est-à-dire aux points où la vitesse absolue est le plus considérable. La couche de matière dont M. Thomson a calculé l'épaisseur augmenterait ainsi d'une heure en cinquante-trois ans la durée de la révolution. Malheureusement, dans l'état actuel des observations, cette durée n'est pas connue à une heure près; c'est un des éléments astronomiques les plus difficiles à déterminer, car on en déduit la valeur de l'étude des taches solaires qui sont animées à la fois d'un mouvement propre et du mouvement général du soleil, et il n'y a qu'une très longue série d'observations qui permettent d'éliminer l'effet du mouvement propre. Cette deuxième vérification est donc impossible pour le présent et paraît devoir l'être longtemps encore. Mais elle n'est pas, comme la première, ajournée à un avenir indéfini.

On a combiné le principe de la théorie mécanique de la chaleur avec l'hypothèse de Laplace sur l'origine du système planétaire, et il est résulté de là une explication nouvelle de la chaleur propre du soleil et des planètes. On a même essayé d'en faire sortir tout récemment une détermination de l'âge du soleil. Je ne vous demanderai pas de me suivre dans ces spéculations qui

vous sembleraient peut-être trop conjecturales ou plutôt trop éloignées du contrôle actuel de l'expérience, mais j'ai dû vous indiquer jusqu'où s'étend la portée de la théorie nouvelle. On a dit, à son occasion, que la science était aujourd'hui sur la voie de découvrir un nouveau système du monde, tout aussi profond et aussi important que celui que Newton avait révélé à son siècle. Peut-être estimerez-vous qu'il n'y a rien d'excessif dans ce jugement.

*
* *

Je ne voudrais pas cependant vous laisser croire que ce système du monde est déjà fait et après vous avoir montré tout ce que la théorie nouvelle nous apprend, je dois vous signaler en général ce qu'elle nous laisse ignorer. Le principe de l'équivalence du travail et de la chaleur n'est qu'une forme de l'équation des forces vives. Or l'avantage propre des applications de cette équation est d'établir entre deux états différents d'un même système des relations indépendantes des états intermédiaires que le système a traversés, mais leur inconvénient est de ne rien nous apprendre du tout sur ces états intermédiaires eux-mêmes. Tel est précisément le caractère de la théorie nouvelle. Elle nous fait connaître ce qu'on peut appeler le *pourquoi* et le *combien* des phénomènes, elle nous en laisse ignorer le *comment*. Ainsi nous voyons bien que dans sa détente la vapeur transforme en travail ou en force vive une partie de la chaleur qu'elle contient; nous comprenons que les courants induits sont nécessaires à l'exercice simultané de la puissance motrice et de la puissance calorifique des courants; mais dans l'un et dans l'autre cas le mécanisme propre des phénomènes, le jeu des forces élémentaires nous demeure inconnu.... (Verdet, *Œuvres*, t. VII. *Leçons sur la théorie mécanique de la chaleur*, p. LXXX.)

CHAPITRE IV

FOURIER

La chaleur rayonnante.

Joseph Fourier, né à Auxerre en 1768, fut admis, sur la recommandation de l'évêque d'Auxerre, à l'École militaire dirigée par les Bénédictins de Saint-Maur. Professeur à l'École polytechnique récemment fondée, il fit partie avec Monge et Berthollet de l'expédition d'Égypte en 1798 et fut secrétaire perpétuel de l'Institut d'Égypte. Nommé préfet de l'Isère en 1802, il occupa ces fonctions jusqu'à la fin de l'Empire. Il signala son administration par une œuvre d'une grande importance : le desséchement des marais de Bourgoin.

Élu à l'unanimité membre de l'Académie des sciences en 1817, dans la section de physique, il fut bientôt élu en outre à l'Académie française. Il mourut en 1830.

Il a publié sur la chaleur des études d'une haute importance.

La chaleur se présente dans les phénomènes naturels et dans ceux qui sont le produit de l'art sous deux formes entièrement distinctes, que Fourier a envisagées séparément. J'adopterai la même division, en commençant toutefois l'analyse historique que je dois vous soumettre par la chaleur rayonnante.

Personne ne peut douter qu'il n'y ait une différence physique, bien digne d'être étudiée, entre la boule de fer à la température ordinaire qu'on manie à son gré, et la

boule de fer de même dimension que la flamme d'un fourneau a fortement échauffée, et dont on ne saurait approcher sans se brûler. Cette différence, suivant la plupart des physiciens, provient d'une certaine quantité d'un fluide élastique, impondérable, ou du moins impondéré, avec lequel la seconde boule s'était combinée dans l'acte de l'échauffement. Le fluide qui, en s'ajoutant aux corps froids, les rend chauds, est désigné par le nom de *chaleur* ou de *calorique*.

Les corps inégalement échauffés, placés en présence, agissent les uns sur les autres, *même à de grandes distances, même à travers le vide*, car les plus froids se réchauffent et les plus chauds se refroidissent; car, après un certain temps, ils sont au même degré, quelle qu'ait été la différence de leurs températures primitives.

Dans l'hypothèse que nous avons signalée et admise, il n'est qu'une manière de concevoir cette action à distance : c'est de supposer qu'elle s'opère à l'aide de certains effluves qui traversent l'espace en allant du corps chaud au corps froid; c'est d'admettre qu'un corps chaud lance autour de lui des rayons de chaleur, comme les corps lumineux lancent des rayons de lumière.

Les effluves, les émanations rayonnantes à l'aide desquelles deux corps éloignés l'un de l'autre se mettent en communication calorifique, ont été très convenablement désignés sous le nom de *calorique rayonnant*.

Le calorique rayonnant avait déjà été, quoi qu'on en ait dit, l'objet d'importantes expériences, avant les travaux de Fourier. Les célèbres académiciens *del Cimento* trouvaient, il y a près de deux siècles, que ce calorique se réfléchit comme la lumière; qu'ainsi que la lumière, un miroir concave le concentre à son foyer. En substituant des boules de neige à des corps échauffés, ils allèrent même jusqu'à prouver qu'on peut former des foyers frigorifiques par voie de réflexion.

Quelques années après, Mariotte, membre de cette

Académie, découvrit qu'il existe différentes natures de calorique rayonnant; que celui dont les rayons solaires sont accompagnés, traverse tous les milieux diaphanes aussi facilement que le fait la lumière; tandis que le calorique qui émane d'une matière fortement échauffée, mais encore obscure, tandis que les rayons de calorique, qui se trouvent mêlés aux rayons lumineux d'un corps médiocrement incandescent, sont arrêtés presque en totalité dans leur trajet au travers de la lame de verre la plus transparente!

Cette remarquable découverte, pour le dire en passant, montra combien avaient été heureusement inspirés, malgré les railleries de prétendus savants, les ouvriers fondeurs qui, de temps immémorial, ne regardaient la matière incandescente de leurs fourneaux qu'à travers un verre de vitre ordinaire, pensant, à l'aide de cet artifice, arrêter seulement la chaleur qui eût brûlé leurs yeux.

Dans les sciences expérimentales, les époques de brillants progrès sont presque toujours séparées par de longs intervalles d'un repos à peu près absolu. Ainsi, après Mariotte, il s'écoule plus d'un siècle sans que l'histoire ait à enregistrer aucune nouvelle propriété du calorique rayonnant. Ensuite, et coup sur coup, on trouve dans la lumière solaire des rayons calorifiques obscurs, dont l'existence ne saurait être constatée qu'avec le thermomètre, et qui peuvent être complètement séparés des rayons lumineux à l'aide du prisme; on découvre, à l'égard des corps terrestres, que l'émission des rayons calorifiques, et conséquemment que le refroidissement de ces corps est considérablement ralenti par le poli des surfaces; que la couleur, la nature et l'épaisseur des enduits dont ces mêmes surfaces peuvent être revêtues, exercent aussi une influence manifeste sur leur pouvoir émissif; l'expérience enfin rectifiant les vagues prévisions auxquelles les esprits les plus éclairés s'abandonnent eux-mêmes avec tant d'étourderie, montre que les rayons calorifiques qui s'élan-

cent de la paroi plane d'un corps échauffé n'ont pas la même force, la même intensité dans toutes les directions; que le *maximum* correspond à l'émission perpendiculaire, et le *minimum* aux émissions parallèles à la surface.

Entre ces deux positions extrêmes, comment s'opère l'affaiblissement du pouvoir émissif? Leslie chercha, le premier, la solution de cette question importante. Ses observations semblèrent prouver que les intensités des rayons sortants sont proportionnelles (il faut bien, Messieurs, que j'emploie l'expression scientifique), sont proportionnelles aux *sinus* des angles que forment ces rayons avec la surface échauffée; mais les quantités sur lesquelles on avait dû expérimenter étaient trop faibles; les incertitudes des appréciations thermométriques, comparées à l'effet total, étaient au contraire trop grandes pour ne pas commander une extrême défiance; eh bien, Messieurs, un problème devant lequel tous les procédés, tous les instruments de la physique moderne étaient restés impuissants, Fourier l'a complètement résolu, sans avoir besoin de tenter aucune expérience nouvelle. La loi cherchée de l'émission du calorique, il l'a trouvée, avec une perspicacité qu'on ne saurait assez admirer, dans les phénomènes de température les plus ordinaires, dans des phénomènes qui, de prime abord, semblent devoir en être tout à fait indépendants.

Tel est le privilège du génie : il aperçoit, il saisit des rapports, là où des yeux vulgaires ne voient que des faits isolés.

Personne ne doute, et d'ailleurs l'expérience a prononcé, que dans tous les points d'un espace terminé par une enveloppe quelconque entretenue à une température constante, on ne doive éprouver une température constante aussi, et précisément celle de l'enveloppe. Or, Fourier a établi que, si les rayons calorifiques émis avaient une égale intensité dans toutes les directions, que, si cette même intensité ne variait pas proportionnellement

au sinus de l'angle d'émission, la température d'un corps situé dans l'enceinte dépendrait de la place qu'il y occuperait : que *la température de l'eau bouillante ou celle du fer fondant, par exemple, existeraient en certains points d'une enveloppe creuse de glace*!! Dans le vaste domaine des sciences physiques, on ne trouverait pas une application plus piquante de la célèbre *méthode de réduction à l'absurde* dont les anciens mathématiciens faisaient usage pour démontrer les vérités abstraites de la géométrie.

Je ne quitterai pas cette première partie des travaux de Fourier, sans ajouter qu'il ne s'est point contenté de démontrer, avec tant de bonheur, la loi remarquable qui lie les intensités conparatives des rayons calorifiques émanés, sous toutes sortes d'angles, de la surface des corps échauffés ; il a cherché, de plus, la cause physique de cette loi ; il l'a trouvée dans une circonstance que ses prédécesseurs avaient entièrement négligée. Supposons, a-t-il dit, que les corps émettent de la chaleur, non seulement par leurs molécules superficielles, mais encore par des points intérieurs. Admettons, de plus, que la chaleur de ces derniers point ne puisse arriver à la surface en traversant une certaine épaisseur de matière, sans éprouver quelque absorption. Ces deux hypothèses, Fourier les traduit en calcul, et il en fait surgir mathématiquement la loi expérimentale du sinus. Après avoir résisté à une épreuve aussi radicale, les deux hypothèses se trouvaient complètement justifiées ; elles sont devenues des lois de la nature ; elles signalent dans le calorique des propriétés cachées, qui pouvaient seulement être aperçues par les yeux de l'esprit. (Arago, *Notices biographiques*, t. I, p. 331-336.)

CHAPITRE V

VICTOR REGNAULT

Ses études sur la chaleur.

Nous terminerons les citations relatives à la chaleur, en empruntant plusieurs pages à l'éloge de Regnault par Dumas. Cet éloge est, avec ceux de Faraday et de Sainte-Claire Deville, un des plus beaux qu'ait écrits l'illustre chimiste.

Victor Regnault, né en 1810, était le fils d'un capitaine au corps des ingénieurs géographes. Son père périt pendant la campagne de Russie. « Bientôt, dit Dumas, Mme Regnault mourait à son tour, épuisée de douleur, laissant deux orphelins, sans famille, sans ressources, mais non sans appui. »

Victor Regnault et sa sœur furent en effet recueillis par un camarade d'armes de leur père, le capitaine Clément, dont la femme leur fut une véritable mère.

Placé avec sa sœur dans un magasin de nouveautés de la rue Richelieu, le jeune Regnault s'y prépara seul à l'École polytechnique, où il fut reçu en 1830, et dont il sortit le premier, dans le corps des mines. Il y revint bientôt comme professeur, et commença la série des beaux travaux analysés par Dumas.

Les chaleurs spécifiques. — La loi de Dulong et Petit.

Il y a un siècle à peine, on ignorait que, pour échauffer au même degré des poids égaux de deux matières différentes, il faut employer des quantités de combustible

très variables, et que l'eau réclame plus de chaleur que toute autre substance, pour passer d'un degré du thermomètre à un degré supérieur. Un savant professeur à l'université d'Édimbourg, Black, que la France pourrait presque réclamer, car il était né à Bordeaux, ayant appelé l'attention sur ce fait étrange, des physiciens habiles montrèrent bientôt que, pour acquérir la même température, l'eau absorbe deux fois plus de chaleur que l'huile, cinq fois plus que le verre, dix fois plus que le fer, trente fois plus que le mercure. C'est ainsi qu'à cette époque où la chaleur était considérée comme une matière, on disait que la capacité de l'eau pour la recevoir dépassait celle de tous les autres corps. Laplace et Lavoisier accordèrent un vif intérêt à ces expériences et aux vues nouvelles dont elles étaient l'expression. Cependant rien n'annonçait encore le rôle qui leur était réservé dans le développement de la philosophie naturelle, lorsque Dulong et Petit furent amenés à s'en occuper.

Le lundi 5 avril 1819, date mémorable, Petit, dont un an plus tard la science déplorait la mort prématurée, montrait, en confidence, à son beau-frère Arago, un chiffon de papier, sur lequel se trouvaient inscrits les rapports selon lesquels les corps simples se combinent, et les quantités de chaleur exigées par chacun d'eux pour s'échauffer d'une manière égale sous le même poids. Au premier aspect, c'était le désordre; mais, en multipliant pour chacun de ces corps les deux chiffres l'un par l'autre, tous les produits se trouvaient égaux. Une heure après, l'illustre secrétaire perpétuel, convaincu que Dulong, toujours hésitant, pourrait s'opposer à la divulgation de cette belle loi, en entretenait ses confrères, par une indiscrétion calculée. Huit jours plus tard, les deux collaborateurs l'énonçaient devant l'Académie elle-même, dans un mémoire célèbre, en ces termes précis : « Les atomes de tous les corps simples ont exactement la même capacité pour la chaleur ». Au milieu du désordre des chiffres,

apparaissait tout à coup l'indication claire d'une loi de la nature.

Il n'y eut qu'un cri dans l'Europe savante. Je ne serai démenti par aucun des rares survivants de cette époque; chacun pensait que la philosophie naturelle venait de faire un grand pas! Lavoisier avait prouvé que dans tous les phénomènes de combinaison ou de décomposition des corps, rien ne se perd et rien ne se crée, comme si la matière était formée de particules inaltérables; Berzélius avait employé sa vie à démontrer que ces particules peuvent être considérées comme des atomes capables de s'unir ou de se séparer sans changer de nature ou de poids; mais ces savants illustres avaient envisagé la matière dans ses seuls rapports avec la matière; Dulong et Petit, en rattachant les propriétés fondamentales de la substance pesante à celles d'un fluide impondérable ou d'une force, la chaleur, semblaient donner au vieil atomisme grec une consécration moderne et supérieure.

La méthode expérimentale de Regnault. Les lois physiques.

Regnault pose en principe que le résultat de toute expérience doit se dégager net et clair. Il fait usage de mécanismes compliqués, c'est vrai ; mais, si l'appareil est complexe, le phénomène à observer est simple. Dans l'art d'expérimenter en fait de corrections, il ne reconnaît qu'un procédé sûr, c'est celui qui n'en exige pas....

La doctrine qui a constamment dirigé Regnault est là tout entière, et, en la mettant en évidence, il a rendu aux sciences un service qui ne sera point oublié, car il s'étend à l'art d'interroger la nature dans toutes les directions, et il constitue le premier et le plus important précepte de la méthode expérimentale.

Dès lors, Regnault découvrait un autre point de vue

que ses études postérieures lui ont donné l'occasion de mettre en évidence dans des circonstances importantes. Les résultats approximatifs indiquent entre les faits naturels des relations simples, que les résultats exacts ne confirment pas. Les expériences précises de Regnault enlevaient à la loi de Dulong et Petit, établie sur des essais insuffisants, le caractère d'une loi mathématique, et notre confrère a démontré plus tard que celle-ci trouverait seulement son application dans les gaz qu'il appelle parfaits. Les quantités de chaleur employées pour faire varier la température des liquides ou des solides dépendent de plusieurs causes, parmi lesquelles la masse des molécules reste assez prépondérante cependant pour justifier le sentiment de Dulong et de Petit. Mais la loi qu'ils ont cru découvrir, absolument vraie pour un état idéal de la matière que nous ne réalisons pas, n'apparaît plus que comme un souvenir plus ou moins effacé, quand on opère sur des substances considérées dans l'état grossier où nous les connaissons.

Ce n'est pas tout : il y a deux siècles, Mariotte, prieur de l'abbaye de Saint-Martin-sous-Beaune, constatait que l'air se condense en raison des poids dont il est chargé, et que sous un poids double, par exemple, l'espace qu'il occupait se réduisait à moitié. Regnault fit voir que la loi de Mariotte ne conviendrait qu'à ces gaz qu'il suppose parfaits. Loin d'obéir à une règle uniforme, chacun des gaz connus se comporte d'une manière qui lui est particulière, et pour des pressions également augmentées, les espaces qu'ils occupent diminuent, en général, plus ou moins, selon qu'ils se rapprochent plus ou moins eux-mêmes du moment où ils prendront la forme liquide.

Enfin, lorsque Gay-Lussac, élève ingénieur de l'École des ponts et chaussées, cherchait, à l'âge de vingt-deux ans, sous l'inspiration de Laplace et de Berthollet, à déterminer quelle expansion éprouvent les gaz quand on les chauffe, les petites différences propres à chacun d'eux

lui échappèrent. Il n'hésita pas à considérer les gaz et les vapeurs comme également dilatables par la chaleur. Regnault a démontré que chaque gaz soumis à l'action de la chaleur se modifie d'une manière spéciale, et que des gaz supposés parfaits réaliseraient seuls encore l'idéal dont on avait cru trouver l'expression dans les gaz ordinaires.

Les lois que Mariotte, Gay-Lussac, Dulong et Petit avaient énoncées ont gardé leur caractère usuel; elles n'ont pas conservé leur précision mathématique; Regnault, par des expériences irréprochables, a démontré que, vraies pour un gaz idéal dont les particules seraient dépourvues d'action réciproque, elles ne le sont pas tant que cette action se mêle aux effets de la chaleur ou de la pression.

Pour voir disparaître celle-ci, il faudrait atteindre aux régions les plus élevées de l'espace, s'approcher du vide absolu, parvenir à une raréfaction telle que l'air dont nous sommes entourés deviendrait en comparaison un épais milieu, et faire connaissance avec un état de la matière dont on n'a essayé d'approcher que dans ces derniers temps et dont les propriétés nous échappent encore.

A mesure que les travaux de notre confrère se multipliaient, on voyait ainsi s'accroître, à la fois, sa confiance dans l'autorité de l'expérience et sa méfiance à l'égard des doctrines. On lui avait enseigné que la chaleur était un corps, elle devenait un mouvement; que les gaz offraient la matière dans le dernier état d'atténuation, et ce n'était plus qu'une poussière moléculaire visqueuse; que les éléments chimiques étaient de véritables corps simples, et cette grande conclusion de la loi de Dulong et Petit s'évanouissait. Comment, plus tard, eût-il accepté pour définitives des opinions nouvelles dont la durée ne lui semblait pas mieux garantie que celle des théories anciennes qu'il avait dû abandonner? Au lieu de proclamer des lois éternelles réservées à un domaine idéal, inaccessible, ne

fallait-il pas se contenter d'en entrevoir, dans nos régions matérielles inférieures, les vestiges et les souvenirs imparfaits ?

C'est ainsi que Regnault, devenu sceptique, tout en restant passionné pour la vérité, est amené à consacrer sa vie à l'observation des faits précis et à la recherche des formules empiriques. Sous ce double rapport, il laisse un ensemble de documents d'une incomparable richesse et d'une fécondité que le travail de longues générations n'épuisera pas. Après avoir créé la vraie calorimétrie, il reconstitue successivement l'hygrométrie et la thermométrie; ses travaux se multiplient, ses publications se succèdent rapidement, et toutes se distinguent par une physionomie spéciale et nouvelle. Critique défiant, aucune cause d'erreur ne lui échappe; esprit ingénieux, il trouve l'art de les éviter toutes; savant plein de droiture, au lieu de donner le résultat moyen de ses expériences, il en publie tous les éléments qu'il livre à la discussion. Dans chaque question, il introduit quelque méthode caractéristique; il multiplie, il varie les épreuves, jusqu'à ce que l'identité des résultats ne laisse aucun doute. La manière de Regnault a fait école; chaque physicien s'y conforme aujourd'hui; on voudrait le suivre dans tous ses travaux, il faut se borner à quelques exemples.

Un litre d'eau pèse un kilogramme, mais combien pèse un litre d'air ou de tout autre gaz? Déterminer avec précision le poids toujours faible d'un gaz emprisonné dans un ballon de verre, alourdi par une armature métallique, constitue une opération délicate. Il faut que le gaz soit pur et sec, que sa pression et sa température soient définies, conditions qu'on avait su réaliser; mais suspendre un ballon de verre à l'un des plateaux d'une balance et déposer dans l'autre des poids de métal, c'est mettre en présence des masses déplaçant des quantités d'air tellement différentes qu'une correction, une seule, restait encore nécessaire. On l'avait éliminée par un artifice;

Regnault la supprime absolument en équilibrant le ballon contenant le gaz par un ballon compensateur de même volume, suspendu au plateau opposé. Les variations de l'atmosphère devenues indifférentes au système, il se comporte dans ce milieu changeant comme s'il était placé dans le vide invariable, et c'est ainsi que Regnault a déterminé le poids du litre d'air et celui des principaux gaz avec une précision que personne ne songe à surpasser. C'est également ainsi qu'il a donné à la balance, le plus sûr des instruments scientifiques, sa dernière perfection.

Dans notre jeunesse, nous entendions affirmer, par nos illustres prédécesseurs, dont les vues sur le temps et l'espace n'étaient peut-être pas aussi étendues qu'elles le sont à l'époque actuelle, que la composition de l'air ne variait pas. Ils s'appuyaient sur des analyses effectuées à vingt ans de distance, montrant que la proportion d'oxygène contenue dans l'air n'avait pas changé. Mais notre atmosphère aurait pu perdre ou recevoir plus d'un milliard de kilogrammes d'oxygène, sans que leurs moyens imparfaits eussent signalé cette modification. Des analyses effectuées par un procédé plus sûr nous ayant amenés à penser, M. Boussingault et moi, qu'ils avaient raison, Regnault fut conduit à la même conclusion par une méthode différente; nous pesions l'oxygène, il le mesurait. Mais l'instrument de mesure dont il se servait, l'eudiomètre à mercure n'était plus l'outil imparfait et grossier de nos pères; il en avait fait un appareil de précision, d'une délicatesse absolue, qu'un astronome n'eût pas désavoué et qui est demeuré classique. Il avait d'ailleurs varié et multiplié ses analyses sans relâche et jusqu'à parfaite démonstration. Dans les limites de nos moyens d'observation, l'air se montre donc uniforme dans sa composition. Cependant, devenus plus circonspects, oserions-nous affirmer encore qu'il ne se modifiera pas avec les années, quand, autour de nous, tout change et tout se meut?

L'homme et les animaux ont besoin d'air pour res-

pirer. Ils en absorbent l'oxygène; ils lui rendent de l'acide carbonique, comme si le charbon qui fait partie de leurs tissus était brûlé par une combustion lente, d'une manière analogue à celle qu'on observe dans la combustion vive d'une lampe enflammée. La chaleur propre des animaux, qui se soutient pendant que le poumon fonctionne, se dissipe quand la respiration s'arrête, et, il y a près de quatre mille ans, les poètes de l'Inde considéraient déjà la chaleur comme le principe de la vie, et le refroidissement comme l'indice de la mort. Les études considérables entreprises sur la respiration par Regnault, avec le concours de son savant collaborateur M. Reiset, ont porté la lumière sur ces intéressantes questions. Leurs prédécesseurs s'étaient contentés d'étudier le phénomène sur des animaux gênés dans leurs allures. Pour la première fois, ceux-ci furent placés dans un récipient où leurs habitudes étaient respectées : ils pouvaient y séjourner indéfiniment. L'air y était renouvelé par d'ingénieux mécanismes dont on ne pourra plus se dispenser de faire usage désormais. Les oiseaux, les mammifères, les reptiles, les insectes, offrent dans leur respiration des différences que les deux éminents observateurs ont mesurées. Les animaux à l'état de repos ou de sommeil, nourris abondamment ou soumis à un jeûne prolongé, les animaux hibernants eux-mêmes ont été comparés. Dans l'état d'hibernation, la température du corps étant descendue à 12°, la respiration s'abaisse à des quantités à peine appréciables, et, loin de diminuer, le poids du corps augmente. Quelle serait la durée de la vie dans ces conditions de torpeur qu'ont traversées peut-être certains mammifères de l'époque glaciaire? C'est ce que nous ignorons; mais, d'après ces résultats, on peut présumer qu'elle serait longue, la dépense étant réduite alors à sa plus simple expression....

Étrange destinée! Regnault avait convaincu d'inexactitude les lois de Mariotte, de Gay-Lussac, de Dulong et

Petit : ces lois usuelles n'en porteront pas moins les noms de leurs inventeurs à la postérité. Les expériences innombrables, d'une exactitude admirable, dont il a doté la science, seront impuissantes, au contraire, pour assurer à son nom la popularité dont il était si digne. Il ne lui aura pas été donné de condenser sa pensée dans une de ces formules vibrantes qui émeuvent les contemporains et qui brillent encore aux yeux des générations à venir, comme autant de phares lumineux.

Études sur la machine à vapeur.

Depuis que la machine à feu est devenue un instrument universel, prenant partout la place des forces trop intermittentes ou trop coûteuses de l'eau, du vent et des moteurs animés, tous les efforts des ingénieurs avaient eu pour but de faire produire à la vapeur le maximum d'effet avec le minimum de dépense. On ne tarda point à reconnaître que le problème resterait insoluble tant que des résultats scientifiques certains n'auraient pas pris la place de l'empirisme.

Il serait difficile d'imaginer une question plus digne de l'attention du savant ou de l'ingénieur et de l'intérêt de l'homme d'État. Les machines à feu se multiplient elles-mêmes et constituent ainsi une population de fer et d'acier dont rien n'arrête l'expansion. Le travail qu'elles produisent déjà dépasse celui de tous les ouvriers de l'espèce humaine. L'armée, la marine, l'agriculture, l'industrie, le commerce, l'art des constructions, c'est-à-dire la défense du pays, l'alimentation publique, le travail national, les moyens de transport, sont également intéressés à la bonne exécution et au meilleur service des machines à feu. Papin, Watt, les créateurs de ces géants dociles, qui ont doublé, en moins d'un siècle, la population active du globe, avaient considéré le problème en mécaniciens.

Appliqués à constituer les organes matériels des nouveaux moteurs et à garantir leur jeu régulier, ils n'avaient pas essayé de remonter au ressort caché qui leur communique le souffle et la vie. Ils avaient donné aux monstres des os et des muscles de dur métal ; ils n'avaient pas pénétré le secret de ce feu qui en déploie les membres formidables par sa transformation en travail mécanique. Il était réservé à Regnault de poser les bases de cette physiologie nouvelle, et à la science des mathématiques supérieures d'en élever le monument définitif.

Cette question fondamentale ne s'était pas présentée d'abord à l'esprit des administrateurs. Le gouvernement chargé de surveiller les machines à vapeur et d'en prévenir les dangereuses explosions, s'était contenté de demander à l'Académie de l'éclairer sur ce sujet restreint. Arago et Dulong avaient institué les expériences nécessaires. Une longue colonne mercurielle, destinée à la mesure exacte des pressions, avait été établie, en 1821, sur leurs plans et avec le secours de l'habile artiste Fortin dans toute la hauteur de la tour, dite de Clovis, dépendant du lycée Henri IV. Mais à peine avaient-ils répondu à la question de police industrielle soumise à l'Académie, qu'on se hâtait de détruire tous leurs appareils, dont la présence, disait-on, menaçait la tour d'une ruine imminente. Les noms retentissants d'Arago, de Dulong, de Fortin, ne suffirent pas pour protéger contre la décision de quelque subalterne commis les expériences projetées pour étudier le mode de génération de la vapeur; elles se trouvèrent ajournées à des temps meilleurs par cet acte de vandalisme.

Le problème devait être posé de nouveau par le ministère des travaux publics, mieux inspiré, et Regnault, seul, cette fois, physicien et mécanicien tout ensemble, fut chargé de déterminer « les principales lois et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur », c'est-à-dire de fournir aux ingénieurs les moyens

de les perfectionner avec certitude, par des combinaisons réfléchies et non par des essais livrés au hasard. Au commencement du siècle, il fallait consommer plus de trois kilogrammes de houille par heure, pour produire la force d'un cheval; aujourd'hui un kilogramme suffit. Comment nier l'importance de telles études qui, sans accroître la dépense, mettent à la disposition des nations civilisées des millions et des millions de travailleurs de plus?

Regnault était trop expérimenté pour ignorer que la moindre erreur commise à l'origine sur les effets de la compression ou de la chaleur produirait de grands désordres, lorsqu'on atteindrait les limites supérieures. Il avait d'ailleurs dans ses propres résultats une confiance qu'il n'étendait guère jusqu'à ceux de ses devanciers, quels qu'ils fussent. Ne nous étonnons donc pas si, dans un travail hérissé de tant de difficultés et si grand par ses conséquences, il a voulu, pour le plus grand bien de la science, que tout fût mesuré de ses propres yeux et pesé de ses propres mains.

Le véritable thermomètre étant le thermomètre à air, il détermine de nouveau la dilatation que l'air éprouve par la chaleur. Le thermomètre usuel étant le thermomètre à mercure, il fixe la dilatation du mercure et sa compressibilité. On admettait que les verres de même nature se dilatent par la chaleur de la même manière; il démontre que chaque tube propre à fournir un thermomètre se dilate à sa façon et doit être étudié pour lui-même.

Il constate avec la plus rare précision la force élastique de la vapeur d'eau depuis 34° au-dessous de zéro, quand la glace fournit la vapeur, jusqu'à 230° au-dessus, c'est-à-dire à la pression de 28^{atm}. Il mesure la chaleur spécifique de l'eau liquide depuis zéro jusqu'à près de 200°; il détermine, enfin, la chaleur totale nécessaire pour réduire l'eau en vapeur sous des pressions variées. Le but pratique proposé à ses investigations était atteint; des expériences

d'une exactitude sans égale et d'une originalité féconde, dont l'exposé gigantesque forme un volume entier de nos mémoires, mettaient les ingénieurs en possession de toutes les données nécessaires au calcul des machines à feu.

Dernières années de V. Regnault.

En 1866, Regnault avait perdu plusieurs personnes de sa famille auxquelles il était tendrement attaché, et surtout sa femme, Mlle Clément, fille de ses parents adoptifs, personne d'un cœur et d'un esprit supérieurs.

Il avait cherché dans les travaux du laboratoire, et il avait trouvé dans les éclatants succès de son fils, quelque distraction à sa douleur.

Eh bien, en 1870, pendant le siège de Paris, une main brutale anéantissait à Sèvres, occupé par l'ennemi, toutes ses notes et jusqu'au moindre des instruments de ce laboratoire. Rien ne semblait changé dans cet asile de la science et tout y était détruit. On s'était contenté de casser la tige de ces thermomètres ou de briser les tubes de ces baromètres ou de ces manomètres, devenus, par leur participation aux plus importantes expériences du siècle, de véritables monuments historiques; pour les balances et autres appareils de précision, il avait suffi d'en fausser d'un coup de marteau les pièces fondamentales; les registres et les manuscrits, réunis en tas, avaient été livrés aux flammes et réduits en cendres.

Dix ans de travail, et des centaines de résultats que la philosophie naturelle regrettera toujours et ne retrouvera pas, avaient disparu : cruauté dont l'histoire n'offre pas d'autre exemple! On peut excuser le soldat romain qui, dans la fureur d'un assaut, massacrait Archimède; il ne le connaissait pas. « Mais, disait Regnault avec un triste sourire en me montrant ses instruments déshonorés, ce

travail de destruction est l'œuvre d'un vrai connaisseur! et cette poussière, ajoutait-il en repoussant du pied les cendres laissées par ses manuscrits, c'est ce qui reste de ma gloire! » Quand on a vécu dans la familiarité de notre malheureux confrère et qu'on a connu son scepticisme habituel, ce mot « gloire », qui lui échappait dans sa douleur, montre quelle importance il attachait à ces manuscrits dévorés par le feu, où se trouvait consignée une pensée qu'il ne retrouva plus, et quels services il attendait encore de ces merveilleux instruments façonnés de ses mains, dont les indications ne l'avaient jamais trompé.

Ce mal, qui ne frappait que le savant, n'était rien à côté de celui qui, dans le même moment, atteignait le père au cœur. Au milieu du grand désastre de la capitulation de Paris, la population tout entière ressentit un élan nouveau de douleur en apprenant la mort de Henri Regnault tué, à Buzenval, par la dernière balle partie des rangs ennemis; de Henri Regnault, demeuré le symbole touchant du talent, de la jeunesse, du patriotisme et du malheur. La carrière brillante que l'artiste, encore à son printemps, avait déjà parcourue, les espérances que ses rares facultés avaient inspirées, son caractère ardent et chevaleresque, la popularité dont jouissaient ses œuvres, que la foule, surprise et charmée, entourait à chaque exposition, inspiraient à son père un juste orgueil et la plus profonde tendresse.

Accablé de toutes parts, la première pensée de Regnault devant cet écroulement des espérances de sa vie, fut de fuir Paris et de se confiner dans une demeure isolée, à Lassigneu, non loin de Genève, où, parmi de nombreux dévouements, il avait été l'objet des plus tendres soins de la part de son ancien disciple, M. Louis Soret, recteur de l'Académie. Il s'occupait à reconstituer son laboratoire et même à reprendre ses travaux, lorsque survint la catastrophe finale qui rappelle les dénouements les plus cruels de la tragédie antique. Sa sœur, Mme Laudin, cette fidèle com-

pagne de ses peines et de ses joies, étant venue lui porter quelque secours, à peine arrivée, le cœur brisé par la douleur, tombait morte dans les bras de son frère. Terrassé par cette nouvelle férocité de la destinée, une attaque de paralysie le condamnait, au même instant, à cette longue agonie dont son ancien collaborateur, M. Reiset, et Mlle Serais, une amie dévouée de la famille, ont essayé d'adoucir les amères tristesses. Ah! combien ceux que trompaient ses allures insouciantes eussent été surpris, s'ils l'avaient entendu dans ses moments d'épanchement! Songeant à tout ce qu'il avait perdu, il appelait la mort comme une délivrance, ne reprenant un peu de calme qu'auprès de Mgr de Belley, qui, après s'être montré plein de bonté pour notre confrère dans sa retraite, l'avait adopté dans son malheur, l'assistant de ses consolations jusqu'à la dernière heure de sa vie. (DUMAS, *Discours et Éloges académiques*, t. II, p. 153-200.)

CHAPITRE VI

FARADAY [1]

Liquéfaction des gaz. — Production du froid.

Lavoisier, cherchant quelles conditions peuvent accroître ou réduire la masse de l'atmosphère, suppose la terre transportée plus près du soleil, dans les chaudes régions où se trouve Mercure, par exemple, et fait voir que, dans cette situation, l'eau se convertirait tout entière en vapeurs, ainsi que d'autres corps, et que l'air s'en trouverait augmenté. La terre serait-elle portée, au contraire, dans des régions très froides, l'eau qui forme aujourd'hui nos fleuves et nos mers, et les liquides que nous connaissons, se transformeraient en montagnes ou rochers très durs.

L'air, ajoute-t-il, ou quelques-unes de ses parties cesseraient alors d'exister dans l'état de vapeurs élastiques, faute d'un degré de chaleur suffisant, « et il en résulterait de nouveaux liquides dont nous n'avons aucune idée ».

Il appartenait à Faraday de réaliser par les expériences les plus brillantes ces dernières suppositions de Lavoisier, et de convertir presque tous les gaz connus en liquides, dont les propriétés extraordinaires avaient échappé, en effet, à toutes les prévisions.

1. Voir plus loin, p. 457, la Notice sur Faraday.

Le chlore se dissout dans l'eau. A quelques degrés au-dessus de zéro, la liqueur se congèle, il s'en sépare une neige jaunâtre contenant à peu près en poids un quart de chlore et trois quarts d'eau. Voilà l'humble point de départ de ses belles découvertes.

Faraday prend cette matière, en remplit un tube de verre, le ferme hermétiquement, et le plonge dans de l'eau tiède. Le composé neigeux, formé d'eau et de chlore, se fluidifie, et les deux corps qui le constituaient se séparent. L'eau reprend sa forme liquide ordinaire. Mais le chlore, devenu libre, ne trouvant pas le large espace dont il aurait besoin pour se convertir en gaz, comprimé par sa propre vapeur, se change pour la plus grande partie en un liquide jaune pâle, très mobile.

Faraday ne tardait pas à réaliser la liquéfaction d'un grand nombre de gaz par ce procédé si simple. Il renfermait dans des tubes de verre, de faible capacité, les substances solides ou liquides capables de fournir un grand volume de gaz. Il les forçait à réagir dans cet espace étroit, et le gaz se liquéfiait en se produisant. Mais chacun comprendra sans peine que ces tubes composaient une artillerie toujours prête à gronder, et que, pour reconnaître les propriétés de ces dangereux liquides, mesurer la pression de leur vapeur à diverses températures, déterminer leur densité, les étudier, en un mot, dans tous leurs détails, il fallait une rare dextérité. Faraday était à la fois hardi et prudent; il eut à subir beaucoup d'explosions dans cette longue et difficile investigation; il n'eut à regretter aucun accident, ni pour lui-même, ni pour les autres, en vrai chimiste, qui n'a peur de rien et qui se défie de tout.

Plus tard, il complétait ces études, en associant le refroidissement à la pression. Les expériences de Thilorier sur l'acide carbonique, celles de notre savant confrère M. Bussy sur l'acide sulfureux, celles que j'ai moi-même effectuées sur le protoxyde d'azote, celles de M. Carré

sur l'ammoniaque et son application à la fabrication domestique de la glace, ajoutant quelques traits au tableau tracé par Faraday ont permis d'en manifester, sous une forme plus saisissante et plus populaire, les conséquences inattendues que Lavoisier, parmi les anciens, semble seul avoir entrevues.

En effet, tous ces gaz liquéfiés par la pression, par le froid ou par l'action combinée de ces deux moyens, constituent des liquides d'une mobilité et d'une fluidité extraordinaires, à côté desquels l'eau semble sirupeuse, l'alcool ou l'éther lui-même des liqueurs visqueuses, lentes à reprendre leur niveau.

Chauffés dans des espaces fermés, ces liquides se changent en gaz aussi denses que les liquides d'où ils proviennent. Chauffés dans des espaces plus libres, ils se dilatent autant ou même plus que les gaz, jusque-là les plus dilatables des corps.

Mais ces gaz liquéfiés par des compressions égales à trente ou quarante fois celle de notre atmosphère, capables de briser les vases de métal qui les renferment, même les plus résistants, ne devaient-ils pas tous produire d'épouvantables explosions, dès qu'ils seraient soustraits à la pression sous laquelle ils avaient pris naissance? Comment ne pas s'y attendre? L'expérience était-elle même nécessaire à tenter?

Le protoxyde d'azote liquide, qu'on n'a manié d'abord qu'avec une circonspection extrême, peut être versé, cependant, comme de l'eau, à l'air libre, d'un vase dans un autre, bien loin d'être détonant. L'observateur a le loisir, pendant des heures entières, d'en étudier les propriétés, sous cette forme liquide.

Versé dans un verre à vin de Champagne, il en offre l'aspect, mais avec des circonstances étranges. Si l'on y fait couler du mercure, celui-ci non seulement se gèle à l'instant, mais il y prend la consistance, la blancheur et la ténacité de l'argent en barre. Un charbon allumé, jeté

sur le liquide, y brûle, au contraire, avec le plus vif éclat. A la distance de l'épaisseur du doigt, dans le même vase, on trouve donc réunies des températures tellement basses qu'aux abords des régions polaires on ne les a jamais observées, et des températures tellement élevées que le feu de forge le plus ardent ne les réalise pas.

L'acide carbonique, à son tour, se liquéfie facilement et produit un liquide incolore, qu'il convient de former ou de conserver dans des vases d'une solidité à toute épreuve, car la tension de la vapeur qui les presse peut les faire éclater comme un obus tuant et détruisant tout dans leur voisinage.

Cependant on convertit, à volonté, ce liquide en un solide transparent comme la glace, ou en une masse blanche et légère comme la neige. Sous cette dernière forme, on conserve, à l'air, l'acide carbonique solide, aussi facilement que la neige ordinaire : de telle sorte que l'acide carbonique, ce gaz permanent, ce liquide aussi redoutable, à la température ordinaire, dans les vases qui le recèlent, que l'eau chauffée à 200 ou 300 degrés,dans une chaudière, devient, sous sa forme solide, le plus pacifique des corps. Une boule de neige carbonique, enveloppée d'un linge, serait portée d'une extrémité de Paris à l'autre, sans plus de soin que la boule de neige aqueuse à laquelle elle ressemble.

Les expériences de Faraday confirment donc les vues de Lavoisier sur les caractères imprévus qu'offrent les liquides produits par les gaz refroidis. Elles confirment aussi l'antique classification de la matière : terre, eau, air et feu, qui en représentait les quatre qualités : solide, liquide, gaz et chaleur. Car Faraday a forcé tous les gaz connus à changer d'état, six exceptés [1] ; ce sont les moins

1. C'est en 1868 que Dumas parlait ainsi. Depuis 1877, grâce aux appareils de M. Cailletet, tous les gaz, l'air et l'hydrogène compris, ont été liquéfiés. Il n'y a plus de gaz permanents. — J. G.

solubles dans l'eau : l'hydrogène, l'azote et l'oxygène; l'hydrogène protocarboné, le bioxyde d'azote et l'oxyde de carbone. Ces six gaz, en outre, entrent, par eux-mêmes ou par leurs éléments, directement ou indirectement, dans la trame solide des tissus organisés, et dans les liquides qu'ils emprisonnent; comme si le procédé de la vie, cherchant l'obstacle, aimait à s'exercer sur des produits particulièrement rebelles à l'assimilation....

En liquéfiant ou en solidifiant les gaz, Faraday a mis à la disposition des observateurs les agents propres à réaliser des températures excessivement basses. L'acide carbonique neigeux, mouillé d'éther, forme un bain à 88 degrés au-dessous de zéro. Le protoxyde d'azote liquide se maintient à une température constante de 90 degrés au-dessous de zéro. Lorsqu'on active l'évaporation de ces substances, en les plaçant dans le vide, on obtient même un abaissement de température qui peut atteindre 100 ou 110 degrés au-dessous de la glace fondante!...

Au premier abord, ce résultat secondaire de la liquéfaction des gaz semblerait d'un mince intérêt. Pourtant il devient de grande conséquence, lorsqu'on réfléchit combien sont restreintes nos ressources pour réaliser de basses températures. S'agit-il de chauffer les corps, nous avons divers moyens d'atteindre 2 000 degrés au moins, c'est-à-dire de parcourir vingt fois le chemin qui sépare la glace fondante de l'eau bouillante. S'agit-il de les refroidir, nous ne dépassions pas naguère 30 degrés au-dessous de zéro; c'est Faraday qui nous a donné le moyen de descendre un peu plus et d'aller au delà de 100 degrés.

Qu'arriverait-il si nous pouvions atteindre 2 000 degrés au-dessous de zéro? Nous ne le savons pas. Remarquons seulement que, si en comprimant un gaz on le liquéfie, les pressions les plus extrêmes ne font guère passer un corps de l'état liquide à l'état solide, comme s'il appar-

tenait surtout au froid de solidifier les corps et d'immobiliser, en apparence au moins, leurs molécules, si agitées dans les gaz, si mobiles dans les liquides. Nous avons donc encore beaucoup à apprendre sur les effets du froid, et découvrir une source intense de froid serait aussi profitable pour la science qu'il l'a été pour elle de posséder une source violente de chaleur.

Au commencement du siècle, on croyait au froid absolu. On n'hésitait pas à dire que, si les corps pouvaient être refroidis jusqu'à 267 degrés au-dessous de la glace fondante, passé ce terme, ils ne perdraient plus de chaleur.

Comme la chaleur est un mouvement, tout mouvement cesserait donc à 267 degrés. Aucun des phénomènes actuels ne peut nous donner une idée de ce que deviendrait la matière, si elle cessait d'être soumise à l'action de la chaleur, qui en agite les dernières particules. Nous apprécions l'existence de la chaleur, sans matière, dans le vide parfait. La matière, sans chaleur, nous est inconnue. Rien ne prouve que le zéro absolu existe et surtout que nous en ayons autant approché, et les géomètres, quand ils en supposent l'existence pour un gaz parfait et pour un état limite, savent du moins qu'ils font une hypothèse, et n'envisagent plus cette expression comme une réalité physique certaine.

Enfin, on croyait que les gaz liquéfiés offriraient, en les exagérant, les propriétés chimiques qui les distinguent à l'état ordinaire; les particules qui les constituent, après s'être rapprochées, devaient montrer une grande exaltation dans leurs affinités. Il n'en est rien. Les substances les plus inflammables, telles que le sodium, subissent sans brûler le contact des liquides les plus comburants, tels que le protoxyde d'azote. L'antimoine, métal qui prend feu vivement dans le chlore gazeux, reste intact et brillant dans le chlore liquéfié, avec lequel il ne se combine plus. On serait tenté de dire : C'est absurde, mais c'est vrai!

C'est ainsi que les découvertes de la science apprennent la circonspection, et c'est ainsi que ceux dont l'expérience est la plus étendue sont ceux qui savent le mieux dire avec sincérité et simplicité : Je ne sais pas. Faraday, qui professait que tout est possible, ne craignait pas, du reste, de soumettre à l'épreuve l'absurde lui-même. Seulement, il savait voir ce qui s'était passé, et savoir voir est le premier secret des grands chimistes. (DUMAS, *Discours et Éloges académiques*, t. I, p. 61-70.)

LIVRE III

L'OPTIQUE

CHAPITRE I

L'OPTIQUE DE NEWTON

L'analyse de la lumière.

Les études de Newton sur l'optique, sans témoigner du même génie que le livre des *Principes*, n'en sont pas moins un des principaux titres de gloire de ce grand homme; plusieurs sont restées classiques, nous les analyserons avec quelque détail et nous en citerons plusieurs passages.

Dans le courant de l'année 1666, dit M. Biot, le hasard l'avait porté à faire quelques expériences sur la réfraction de la lumière à travers des prismes. Ces expériences, qu'il avait d'abord tentées comme un amusement, et par un simple attrait de curiosité, lui avaient bientôt offert des conséquences importantes. Elles l'avaient conduit à voir que la lumière, telle qu'elle émane des corps rayonnants, du soleil, par exemple, n'est pas une substance simple et homogène; mais qu'elle est composée d'une infinité de rayons doués de réfrangibilités inégales et de facultés colorifiques diverses. Alors l'inégalité des réfractions subies par ces rayons dans un même corps, quand ils le pénètrent sous une même incidence, lui avait servi de moyen pour les

séparer ; et, les possédant ainsi isolés, il avait commencé à étudier les autres propriétés qui pouvaient leur appartenir individuellement. Mais l'irruption de la peste qui, dans cette même année, le força de se réfugier à la campagne, l'ayant séparé de ses instruments, et privé de moyens d'expériences, il tourna ses pensées sur d'autres objets.

Plus de deux ans s'écoulèrent encore sans qu'il revînt à ce genre de recherches ; mais il y fut naturellement ramené, lorsqu'il vit qu'il allait être chargé de faire à Cambridge les leçons d'optique, à la place de Barrow, qui, en 1669, lui résigna généreusement sa chaire. Cherchant alors à compléter ses premiers résultats, il fut conduit à une foule d'observations, non moins admirables, par leur nouveauté et leur importance, que par la sagacité, l'adresse et la méthode qu'il mit à les imaginer, les exécuter et les enchaîner les unes aux autres. Il en composa un corps complet de doctrine, où les propriétés fondamentales de la lumière étaient dévoilées, établies et classées d'après l'expérience pure, sans aucun mélange d'hypothèses; nouveauté alors aussi surprenante et aussi inouïe que ces propriétés elles-mêmes. Ce fut là le texte des leçons qu'il commença de donner à Cambridge, en 1669, ayant à peu près vingt-sept ans. Ainsi, d'après ce que nous avons raconté de la succession de ses idées, on voit que la méthode des fluxions, la théorie de la pesanteur universelle, et la décomposition de la lumière, c'est-à-dire les trois grandes découvertes dont le développement a fait la gloire de sa vie, étaient nées dans son esprit, avant qu'il eût atteint sa vingt-quatrième année.

Quoique les leçons de Newton sur l'optique dussent inévitablement finir par donner une sorte de publicité à ses travaux sur la lumière, il ne s'en dessaisit point encore, voulant sans doute se réserver le temps et la possibilité d'y ajouter l'analyse complète de quelques autres propriétés plus singulières, qu'il n'avait fait encore qu'entre-

voir : je veux parler des intermittences de réflexion et de réfraction, qui s'opèrent dans les lames minces, et peut-être dans les dernières particules de tous les corps. Ce fut seulement deux ans après, en 1671, qu'il se laissa aller à dévoiler quelque chose de ces recherches; et il fut bientôt conduit à les faire entièrement connaître, à l'occasion de son élection comme membre de la Société Royale en 1672. (Biot, *Mélanges scient. et litt.*, t. I, p. 140.)

Newton compléta l'analyse de la lumière dans un second mémoire publié en 1672 dans les *Transactions philosophiques*; puis dans un troisième mémoire publié en 1675, il donna

l'analyse expérimentale des phénomènes de coloration qui s'observent dans les lames minces de toutes les substances, phénomènes qui avaient été précédemment signalés et décrits par Hooke, mais sans qu'il en eût donné ni les mesures ni les lois. Newton établit d'abord ces mesures avec une précision et une délicatesse admirables; puis, il en conclut les lois physiques par lesquelles tous les résultats s'enchaînent et se déduisent les uns des autres [1].

Ce travail réuni presque textuellement au premier mémoire sur l'analyse de la lumière forma la base du grand ouvrage de Newton, *l'Optique*, publié en 1704.

Le traité d'Optique parut d'abord en anglais, sous ce titre : *Opticks or a Treatise on the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*. 1704.

L'Optique fut presque aussitôt traduite en latin par Clarke en 1706.

Une seconde édition anglaise parut en 1717.

Elle fut traduite en français par Coste, sur l'ordre de la princesse de Galles. Cette traduction française parut d'abord en deux vol. in-18 à Amsterdam en 1720; puis à Paris en 1722 en 1 vol. in-4.

1. Biot, *Mélanges scient. et litt.*, t. I, p. 150.

C'est à cette traduction que nous empruntons les citations qui suivent.

L'ouvrage est divisé en trois livres.

Dans le premier, la réflexion, la réfraction, la dispersion sont étudiées avec soin et expliquées en détail dans la théorie de l'émission. Newton, préoccupé du grand nombre de faits expliqués par l'attraction, suppose que le phénomène de la réfraction est dû à une attraction exercée sur les particules lumineuses par les corps réfringents.

La plupart des expériences citées dans ce premier livre sont devenues classiques. Nous y faisons de longs emprunts.

PREMIÈRE PROPOSITION. — *Les rayons de lumière qui diffèrent en couleur diffèrent aussi en degrés de réfrangibilité.*

La preuve fondée sur des expériences.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE. — Ayant pris un morceau de papier noir, oblong et très fort, terminé par des côtés parallèles, je le distinguai en deux parties égales par une ligne droite en travers, tirée perpendiculairement d'un côté à l'autre. Je peignis une de ces parties en rouge et l'autre en bleu. Le papier était fort noir, et les couleurs foncées et épaisses, afin que le phénomène fût plus sensible. Je regardai ce papier à travers un prisme de verre solide, dont les deux côtés au travers desquels la lumière passait dans l'œil, étaient plans et bien polis, et faisaient un angle d'environ 60° que j'appelle l'angle réfringent du prisme. Et tandis que j'avais les yeux sur ce papier, je le tenais avec le prisme devant une fenêtre, de telle manière que les côtés du papier étaient parallèles au prisme, que ces deux côtés et le prisme étaient parallèles à l'horizon aussi bien que la ligne qui les croisait; et que la lumière qui venait de la fenêtre sur le papier, faisait avec le papier un angle égal à celui que la lumière réfléchie du papier vers l'œil faisait avec ce même papier. Au delà du prisme, le mur de la chambre au-dessous de la fenêtre était couvert d'un drap noir, et le drap était entièrement dans l'obscurité, afin que de là il ne réfléchît aucune lumière,

qui en passant par les bords du papier à l'œil pût se mêler avec la lumière du papier, et en obscurcir le phénomène. Ces choses ainsi disposées, je trouvai que, si l'angle réfringent du prisme est tourné en haut, de sorte que le papier paraisse élevé en haut par la réfraction, la moitié bleue du papier sera élevée plus haut par la réfraction que sa moitié rouge. Mais, si l'angle réfringent du prisme est tourné en bas, de sorte que le papier paraisse transporté plus bas par la réfraction, sa moitié bleue sera par là entraînée un peu plus bas que sa moitié rouge. Ainsi, dans les deux cas, la lumière qui vient à l'œil de la moitié bleue du papier à travers le prisme, souffre en pareilles circonstances une plus grande réfraction que la lumière qui vient de la moitié rouge, et par conséquent est plus réfrangible....

SECONDE EXPÉRIENCE. — Autour du papier décrit ci-dessus dont les deux moitiés étaient peintes de rouge et de bleu, et qui était aussi fort qu'un simple carton, je roulai plusieurs fois un fil délié de soie extrêmement noire, en telle sorte que les différentes parties de ce fil pussent paraître sur les couleurs comme autant de lignes noires tirées dessus, ou comme des ombres longues et minces, répandues sur ces couleurs. J'aurais pu tracer des lignes noires avec une plume, mais ces fils étaient plus déliés et mieux terminés. Ce papier ainsi coloré, et enveloppé de fils noirs, je l'appliquai contre un mur perpendiculairement à l'horizon, de sorte que l'une des couleurs fût à main droite et l'autre à main gauche. Tout près devant le papier, dans le confin des couleurs vers le bas, je plaçai une chandelle pour bien éclairer le papier, car cette expérience fut faite de nuit. J'approchai la flamme de la chandelle jusqu'au bord inférieur du papier, ou un peu plus haut. Après quoi, à la distance de 6 pieds et 1 ou 2 pouces du papier, j'élevai sur le plancher une lentille de verre, large de 4 pouces et 1/4, qui pût rassembler les rayons venant des différents points du papier, les faire con-

verger vers tout autant d'autres points à la même distance de 6 pieds et 1 ou 2 pouces, de l'autre côté de la lentille, et peindre ainsi l'image du papier coloré sur un papier blanc mis dans cet endroit-là, de la même manière qu'une lentille appliquée au trou d'un volet de fenêtre dans une chambre obscure, jette les images des objets de dehors sur une feuille de papier blanc. Ayant donc placé ce papier blanc perpendiculairement à l'horizon et aux rayons qui y tombaient dessus en venant de la lentille, je l'approchais quelquefois de la lentille, et quelquefois je l'en éloignais, afin de trouver les endroits où les images des parties bleues et rouges du papier coloré paraîtraient plus distinctement. Je découvris facilement ces endroits-là par les images des lignes noires formées par la soie que j'avais roulée autour du papier. Car les images de ces lignes déliées, qui à cause de leur noirceur paraissaient comme des ombres sur le bleu et sur le rouge, étaient confuses et à peine visibles, hormis dans le temps que les couleurs qui étaient à côté de ces lignes, se trouvaient terminées fort distinctement. Ayant donc observé avec toute l'attention possible les endroits où les images des moitiés rouges et bleues du papier coloré paraissaient les plus distinctes, je trouvai que là où la moitié rouge du papier paraissait distinctement, la moitié bleue paraissait si confuse qu'on y pouvait à peine voir les lignes noires tirées dessus cette moitié bleue; et qu'au contraire là où la moitié bleue paraissait le plus distinctement, la moitié rouge paraissait si confuse, que les lignes noires étaient à peine visibles sur cette dernière moitié. Du reste, il y avait un pouce et demi de distance entre les deux endroits où ces images paraissaient distinctes, de sorte que lorsque l'image de la moitié rouge du papier coloré paraissait le plus distinctement, l'endroit du papier blanc où se peignait cette image, était éloigné de la lentille, un pouce et demi de plus que n'en était éloigné l'endroit du même papier blanc où l'image de la moitié bleue paraissait

le plus distinctement. Donc à pareilles incidences du bleu et du rouge sur la lentille, le bleu était plus rompu par la lentille que le rouge, de sorte qu'il convergeait un pouce et demi plus près de la lentille; et par conséquent le bleu est plus réfrangible que le rouge....

SECONDE PROPOSITION. — *La lumière du soleil est composée de rayons différemment réfrangibles.*

La preuve fondée sur des expériences.

TROISIÈME EXPÉRIENCE. — Dans une chambre fort obscure ayant fait dans le volet d'une de ses fenêtres un trou rond d'environ un tiers de pouce de largeur, j'appliquai à ce trou un prisme de verre par lequel les rayons du soleil qui donnaient dans ce trou pussent être jetés en haut par réfraction vers le mur opposé de la chambre, et y tracer une image colorée du soleil. Dans cette expérience et les suivantes, l'axe du prisme (c'est-à-dire la ligne qui, parallèle au bord de l'angle réfringent, traverse le milieu du prisme d'un bout à l'autre) était perpendiculaire aux rayons incidents. Ayant tourné lentement le prisme autour de cet axe, je vis que la lumière rompue tracée sur le mur, c'est-à-dire l'image colorée du soleil, descendait d'abord et ensuite montait. Entre cette descente et cette montée, lorsque l'image paraissait stationnaire, j'arrêtai le prisme, et le fixai dans cette situation afin qu'il ne remuât plus. Car dans cette position, les réfractions de la lumière aux deux côtés de l'angle réfringent, c'est-à-dire à l'entrée des rayons dans le prisme, et à leur sortie du prisme étaient égales entre elles. Ainsi, dans d'autres expériences, toutes les fois que je voulais faire en sorte que les réfractions fussent égales entre elles aux deux côtés du prisme, je marquais l'endroit où l'image du soleil formée par des rayons rompus s'arrêtait entre ses deux mouvements opposés dans la commune période de son allée et de son retour; et lorsque l'image tombait sur cet endroit-là, je fixais le prisme. Et c'est dans cette situation, comme la plus commode, qu'on doit compter que tous

les prismes ont été placés dans les expériences suivantes, à moins que je ne désigne expressément quelque autre position. Le prisme étant donc situé de cette manière, je laissai tomber la lumière rompue vers le mur opposé de la chambre, sur une feuille de papier blanc perpendiculaire aux rayons rompus, et j'observai la figure et les dimensions de l'image solaire que cette lumière traçait sur le papier. Cette image, quoique oblongue, n'était pas ovale, mais terminée par deux côtés rectilignes et parallèles, et par deux bouts semi-circulaires. Par ses côtés, elle était terminée assez distinctement, mais d'une manière très confuse par ses bouts où la lumière commençant à manquer, s'évanouissait par degrés. La largeur de cette image répondait au diamètre du soleil, et était d'environ 2 pouces et 1/8 de pouce, y compris la pénombre. Car l'image était à 18 pieds et demi du prisme; et à cette distance la largeur de l'image étant diminuée par le diamètre du trou fait au volet de la fenêtre (c'est-à-dire d'un quart de pouce), elle sous-tendait au prisme un angle d'environ un demi-degré, qui est le diamètre apparent du soleil. Mais la longueur de l'image était d'environ 10 pouces 1/4 et la longueur des côtés rectilignes d'environ 8 pouces; et l'angle réfringent du prisme, qui produisait toute cette longueur, était de 64°. Lorsque cet angle était plus petit, la longueur de l'image était aussi plus petite, la largeur restant toujours la même. Si l'on tournait le prisme autour de son axe du côté qui faisait que les rayons sortaient plus obliquement de la seconde surface réfringente du prisme, l'image devenait bientôt plus longue de 1 ou 2 pouces ou au delà; et si l'on tournait le prisme du côté opposé en sorte qu'on fît tomber les rayons d'une manière plus oblique sur la première surface réfringente, l'image devenait bientôt 1 ou 2 pouces plus courte. Pour cet effet, en faisant cette expérience, je m'appliquais avec tout le soin possible à mettre exactement le prisme, suivant la règle mentionnée ci-dessus, en telle situation

que les réfractions des rayons en sortant du prisme fussent égales aux réfractions qu'ils souffraient en y entrant. Le prisme dont je me servais avait quelques veines répandues dans le verre d'un bout à l'autre, lesquelles dispersaient irrégulièrement certaine partie de la lumière du soleil, mais sans contribuer pourtant à augmenter sensiblement la longueur du *spectre* ou de l'image colorée : car ayant fait cette expérience avec d'autres prismes, elle me réussit de la même manière. Et en particulier, avec un prisme qui paraissait exempt de pareilles veines, et dont l'angle réfringent était de 62° 1/2, je trouvai la longueur de l'image de 9 pouces 3/4 ou de 10 pouces, à la distance de 18 pieds 1/2 du prisme, la largeur du trou fait au volet de la fenêtre étant de 1/4 de pouce comme auparavant. Mais, parce qu'il est aisé de se méprendre à placer le prisme dans sa situation convenable, je répétai l'expérience 4 ou 5 fois; et je trouvai toujours que la longueur de l'image était telle qu'elle a été marquée ci-dessus....

Il paraît donc qu'à incidences égales, il y a une inégalité de réfraction très considérable. Mais de savoir d'où vient cette inégalité, si c'est de ce que quelques-uns des rayons incidents sont plus rompus et d'autres moins; et cela constamment, ou par hasard; ou de ce qu'un seul et même rayon est confondu, dissipé et pour ainsi dire fendu et éparpillé en plusieurs rayons divergents, comme le suppose Grimaldo [1], c'est ce qui ne paraît pas encore par ces expériences, mais qui paraîtra par celles qui suivent.

1. *Grimaldi* (François-Marie), né à Bologne en 1618, mort en 1663, jésuite, professeur dans les collèges de son ordre, surtout à Bologne, découvrit les phénomènes de diffraction en examinant l'ombre d'un cheveu qu'il trouva trop grande. Cette découverte est décrite dans le livre : *Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride, aliisque annexis, libri duo* (Bologne, 1663). — Newton le cite à plusieurs reprises. — J. G.

Cinquième expérience. — Considérant donc que si, dans la troisième expérience, l'image du soleil eût pris une forme oblongue, ou par une dilatation de chaque rayon, ou par quelque autre inégalité des réfractions, causée par accident, une seconde réfraction faite de côté devrait rendre cette même image tout aussi oblongue en largeur qu'elle l'était en longueur, par le moyen d'une pareille dilatation de rayons, ou de quelque autre inégalité accidentelle des réfractions faites de côté, j'essayai quels seraient les effets d'une seconde réfraction de cette espèce. Dans cette vue, ayant disposé toutes choses, comme dans la troisième expérience, je plaçai un second prisme immédiatement après le premier, mais de telle manière qu'il le croisait, pour pouvoir rompre encore le trait de la lumière solaire, lequel venait à lui au travers du premier prisme. Ce trait de lumière se rompait de bas en haut dans le premier prisme et de côté dans le second. Et j'éprouvai que par la réfraction causée par le second prisme, la largeur de l'image n'était point augmentée, mais que sa partie supérieure qui dans le premier prisme souffrait la plus grande réfraction, et paraissait violette et bleue, souffrait encore dans le second prisme une plus grande réfraction que dans sa partie inférieure qui paraissait rouge et jaune; et cela sans que l'image fût aucunement dilatée en largeur....

Je mis quelquefois un troisième prisme après le second, et quelquefois un quatrième après le troisième, afin que par tous ces prismes l'image pût être souvent rompue de côté : mais les rayons qui souffraient dans le premier prisme une plus grande réfraction que le reste, en souffraient une plus grande dans tous les autres prismes; et cela, sans que l'image fût aucunement dilatée de côté. C'est donc à juste titre que ces rayons, constants à être plus rompus que les autres, sont réputés plus réfrangibles....

Sixième expérience. — Ayant pris deux planches assez minces, je fis au milieu de chacune un trou rond d'un

tiers de pouce de diamètre; et ayant fait dans le volet de la fenêtre un trou beaucoup plus large, pour laisser entrer dans ma chambre obscure un gros trait de lumière solaire, je mis un prisme derrière le volet au-devant de cette lumière pour la faire tomber rompue sur le mur opposé; et justement derrière ce prisme, je fixai une de mes planches, en sorte que le milieu de la lumière rompue pût passer au travers du trou que j'y avais fait, et que le reste fût intercepté par la planche. Ensuite, à la distance d'environ 12 pieds de la première planche, je fixai l'autre planche en telle sorte que le milieu de la lumière rompue qui ayant passé par le trou de la première planche, était tombée sur le mur opposé, pût passer à travers le trou de cette autre planche, et que le reste étant intercepté par la planche pût y tracer l'image colorée du soleil. Et immédiatement derrière cette seconde planche, je fixai un autre prisme pour rompre la lumière qui passait au travers du trou. Alors je revins promptement au premier prisme, et le tournant lentement de côté et d'autre autour de son axe, je fis en sorte que l'image qui était tombée sur la seconde planche, se mouvait en haut et en bas sur cette planche, pour que toutes les parties de l'image pussent passer successivement par le trou de cette planche, et tomber sur le prisme qui était derrière. En même temps je marquai sur le mur opposé les lieux où cette lumière passait après avoir été rompue dans le second prisme; et par la différence des lieux, je trouvai que la lumière qui, après avoir souffert une plus grande réfraction dans le premier prisme, allait à l'extrémité bleue de l'image, était encore plus rompue dans le second prisme que la lumière qui allait à l'extrémité rouge de la même image, ce qui prouve la première proposition aussi bien que la seconde. Et cela se passait ainsi, soit que les axes des deux prismes fussent parallèles, ou bien inclinés l'un à l'autre, et à l'horizon, à angles donnés quelconques....

HUITIÈME EXPÉRIENCE. — Newton reçoit sur un livre ouvert, d'abord le rouge, puis le bleu d'un spectre produit par un prisme, et cherche la position de l'image formée par une lentille convergente ; il trouve que l'image du bleu se forme 2 pouces 1/2 ou 2 pouces 3/4 plus près de la lentille que l'image du rouge. Donc le bleu est plus réfrangible que le rouge.

NEUVIÈME EXPÉRIENCE. — Il fait tourner un prisme à réflexion totale et fait disparaître et apparaître les diverses couleurs.

Par une étrange erreur, Newton croit pouvoir conclure de cette expérience, la proposition suivante :

TROISIÈME PROPOSITION. — La lumière du soleil est composée de rayons différents en réflexibilité, et les rayons qui sont les plus réfrangibles sont aussi plus réflexibles que les autres. Cela est évident par la neuvième expérience.

Plus loin (p. 105), en recherchant ce qui empêche que les télescopes (lunettes) ne soient parfaits, Newton signale avec raison la différente réfrangibilité des rayons de lumière, mais il nie à tort l'influence de la courbure des verres, c'est-à-dire l'aberration de sphéricité.

PROPOSITION [1]. — *Toute lumière homogène a sa couleur propre qui répond à ses degrés de réfrangibilité ; et cette couleur ne peut être changée ni par réflexion, ni par réfraction.*

Dans les expériences décrites plus haut, après que j'eus séparé les rayons hétérogènes les uns des autres, le spectre, formé par les rayons séparés, en avançant depuis son extrémité sur laquelle tombèrent les rayons les plus réfrangibles, jusqu'à son autre extrémité sur laquelle tombèrent les rayons les moins réfrangibles, parut illuminé des couleurs suivantes dans l'ordre que

1. *Optique*, liv. I, part. II, p. 157.

je vais les nommer : le violet, l'indigo, le bleu, le vert, le jaune, l'orangé, le rouge, avec tous leurs degrés intermédiaires dans une continuelle succession qui variait perpétuellement; de sorte qu'on voyait autant de degrés de couleurs qu'il y avait d'espèces de rayons de différente réfrangibilité.

Or, que ces couleurs ne pussent point être changées par réfraction, c'est de quoi je m'assurai en rompant avec un prisme, tantôt une très petite partie de cette lumière et tantôt une autre. Car par cette réfraction la couleur de la lumière ne fut jamais changée le moins du monde. Si quelque partie de la lumière rouge était rompue, elle demeurait entièrement du même rouge qu'auparavant. Cette réfraction ne produisait ni orangé, ni jaune, ni vert, ni bleu, ni aucune autre nouvelle couleur. Et bien loin que la couleur fût changée en aucune manière par des réfractions répétées, c'était toujours entièrement le même rouge que la première fois. Je trouvai la même immutabilité dans le bleu, le jaune et les autres couleurs. De même, lorsque je regardais au travers d'un prisme quelque corps illuminé de quelque partie que ce fût de cette lumière homogène, il ne me fut pas possible d'apercevoir aucune nouvelle couleur produite par ce moyen-là. Tous corps illuminés d'une lumière hétérogène, regardés au travers d'un prisme, paraissent confus et teints de diverses couleurs nouvelles. Mais ceux qui sont illuminés d'une lumière homogène, ne paraissaient au travers des prismes, ni moins distincts, ni autrement colorés, que lorsqu'on les regardait simplement avec l'œil. La couleur n'en était nullement changée par la réfraction du prisme interposé. Je parle ici d'un changement sensible de couleur. Car la lumière que je nomme ici homogène, n'étant pas homogène absolument et à toute rigueur, son hétérogénéité doit produire un petit changement de couleur. Mais lorsque cette hétérogénéité diminuait jusqu'au point où l'on peut

la réduire par les expériences mentionnées ci-dessus, ce changement de couleur était insensible; et par conséquent, dans des expériences où les sens sont juges, il doit être compté pour rien.

Et comme ces couleurs ne pouvaient point être changées par des réfractions, elles ne l'étaient pas non plus par des réflexions. Car tout corps blanc, gris, rouge, jaune, vert, bleu, violet, comme le papier, les cendres, le vermillon, l'orpiment, l'indigo, l'azur, l'or, l'argent, le cuivre, l'herbe, les fleurs bleues, les violettes, les bulles d'eau teintes de différentes couleurs, les plumes de paon, la teinture du bois néphrétique, et autres telles choses, tout cela exposé à une lumière homogène rouge, paraissait entièrement rouge, à une lumière bleue entièrement bleu, à une lumière verte entièrement vert, et ainsi des autres couleurs. Dans la lumière homogène de quelque couleur que ce fût, tous ces corps paraissaient totalement de cette même couleur, avec cette seule différence que quelques-uns réfléchissaient cette lumière d'une manière plus forte, et d'autres d'une manière plus faible. Mais je n'ai point encore trouvé de corps qui, en réfléchissant une lumière homogène, pût en changer sensiblement la couleur.

De tout cela il s'ensuit évidemment que, si la lumière du soleil ne consistait qu'en une seule sorte de rayons, il n'y aurait qu'une seule couleur dans le monde; qu'il ne serait pas possible de produire aucune nouvelle couleur par voie de réflexion et de réfraction; et que, par conséquent, la diversité des couleurs dépend de ce que la lumière est un composé de rayons de différente espèce.

Définition. — La lumière homogène ou les rayons qui paraissent rouges, ou plutôt qui font paraître les objets rouges, je les appelle *rayons rubrifiques* ou causant le rouge; et ceux qui font paraître les objets jaunes, verts, bleus et violets, je les appelle *rayons qui font le jaune*, *le vert*, *le bleu*, *le violet*, et ainsi du reste. Que si je parle

quelquefois de la lumière et des rayons comme colorés ou imbus de couleurs, je prie le lecteur de se ressouvenir que je ne prétends pas parler philosophiquement et proprement, mais grossièrement, et conformément aux conceptions que le peuple serait sujet à se former en voyant les expériences que je propose dans cet ouvrage. Car, à parler proprement, les rayons ne sont point colorés, n'y ayant autre chose en eux qu'une certaine puissance ou disposition à exciter une sensation de telle ou telle couleur. Car comme le son n'est dans une cloche, dans une corde de musique, ou dans tout autre corps résonant, qu'un mouvement tremblotant; qu'il n'est dans l'air que ce même mouvement propagé depuis l'objet; et que dans le lieu des sensations (*sensorium*) c'est le sentiment de ce mouvement sous la forme de son : de même les couleurs dans les objets ne sont autre chose que la disposition qu'ils ont à réfléchir en plus grande abondance telle ou telle espèce de rayons que toute autre espèce; et dans les rayons qu'une disposition à propager tel ou tel mouvement dans le *sensorium*, où ce sont des sensations de ces mouvements sous la forme de couleurs.

PROPOSITION. — On peut par voie de composition faire des couleurs qui à l'œil seront semblables aux couleurs de lumière homogène, mais non pas par rapport à l'immutabilité de la couleur et à la constitution réelle de la lumière. A mesure que ces couleurs sont plus composées, elles sont à proportion moins vives et moins foncées; et par une composition trop forte, elles peuvent être affaiblies et déteintes jusqu'à disparaître absolument, le mélange devenant blanc ou gris. On peut aussi produire, par voie de composition, des couleurs qui ne soient point entièrement semblables à aucune des couleurs de lumière homogène.

Car un mélange de rouge et de jaune homogènes compose un jaune orangé, lequel à l'œil ressemble à l'orangé qui, dans la suite des couleurs simples représentées par

le prisme, se trouve entre le rouge et le jaune : mais par rapport à la réfrangibilité, la lumière de ce dernier orangé est homogène, et celle de l'autre est hétérogène; et la couleur de l'un regardée au travers d'un prisme, reste immuable et celle de l'autre change, et se résout en ses couleurs composantes, le rouge et le jaune. De même avec des couleurs homogènes voisines on peut composer des couleurs nouvelles, semblables aux couleurs homogènes intermédiaires. Ainsi, le jaune et le vert, mêlés ensemble, produisent la couleur d'entre deux; et si à cette couleur vous ajoutez du bleu, il en résultera un vert qui tiendra le milieu entre les trois couleurs qui entrent dans sa composition.... A ce vert mélangé, on peut encore ajouter un peu de rouge et de violet, auquel cas le vert ne disparaîtra point encore, mais deviendra seulement moins vif et moins foncé, et si vous augmentez la quantité du rouge et du violet, il deviendra toujours plus faible et plus détrempé jusqu'à ce que, par la supériorité des couleurs ajoutées, il soit comme éteint, et changé en blanc, ou en quelque autre couleur. De même, si à la couleur de quelque lumière homogène que ce soit, on ajoute la lumière blanche du soleil, qui est composée de toutes les espèces de rayons, cette couleur ne s'évanouira pas, ni ne changera point d'espèce, mais sera plus faible; et à mesure qu'on y ajoutera plus de cette lumière blanche, elle deviendra toujours plus faible et plus lavée. Enfin, si on mêle ensemble le rouge et le violet, on produira, selon leurs différentes proportions, différents pourpres qui, à l'œil, ne ressemblent à la couleur d'aucune lumière homogène, et de ces pourpres mêlés avec le jaune et le blanc on en peut faire d'autres nouvelles couleurs.

Proposition. — On peut avec des couleurs composer le blanc et toutes les couleurs grises entre le blanc et le noir : et la blancheur de la lumière du soleil est composée de toutes les couleurs primitives mêlées dans une juste proportion.

Expérience. — Le soleil ayant donné dans une chambre obscure par un petit trou rond fait dans le volet d'une fenêtre, et sa lumière ayant été rompue là par un prisme pour peindre sur le mur opposé l'image du soleil;... je fis tomber cette image solaire sur une lentille large de plus de 4 pouces, éloignée du prisme d'environ 6 pieds et telle que la lumière colorée qui sort du prisme en divergeant, devienne convergente et se réunisse à son foyer qui est à environ 6 ou 8 pieds de distance de la lentille; et qu'elle tombe là perpendiculairement sur un papier blanc. Si vous avancez ou reculez ce papier, vous verrez que près de la lentille, toute l'image solaire paraîtra sur le papier teint de couleurs très fortes, mais qu'en le reculant de la lentille, ces couleurs se rapprocheront continuellement et que, s'entremêlant de plus en plus, elles s'affaibliront incessamment les unes les autres, jusqu'à ce qu'enfin le papier parvienne au foyer où par un parfait mélange elles s'évanouiront entièrement, et seront changées en une couleur blanche, toute la lumière paraissant alors sur le papier comme un petit cercle blanc. Après quoi, si l'on éloigne davantage le papier de la lentille, les rayons qui auparavant étaient convergents, se croiseront dans le foyer, et allant de là en divergeant, ils feront reparaître les couleurs, mais dans un ordre contraire : le rouge qui auparavant était en bas, est maintenant en haut, et le violet est en bas qui auparavant était en haut.

Arrêtons présentement le papier au foyer, où la lumière paraît entièrement blanche et circulaire, et considérons-en la blancheur. Je dis que cette blancheur est composée des couleurs convergentes. Car si une ou plusieurs de ces couleurs sont interceptées à la lentille, la blancheur disparaîtra aussitôt, et sera changée en une couleur qui provient d'un mélange des autres couleurs non interceptées. Et si laissant passer ensuite les couleurs interceptées, on les fait tomber sur cette couleur composée,

elles se mêleront avec elles, et rétabliront la blancheur par leur mélange. Ainsi, si le violet, le bleu et le vert sont interceptés, le jaune, l'orangé et le rouge qui restent composeront une espèce d'orangé sur le papier; et si, après cela, on laisse passer les couleurs interceptées, elles tomberont sur cet orangé composé; et mêlées avec lui, elles produiront encore du blanc. De même, si le rouge et le violet sont interceptés, le jaune, le vert et le bleu qui restent composeront une espèce de vert sur le papier; après quoi, si l'on laisse passer le rouge et le violet, ils tomberont sur ce vert; et mêlés avec lui, ils produiront encore du blanc. Or que dans cette composition qui fait le blanc, les différents rayons ne souffrent aucun changement dans leurs qualités *colorifiques* en agissant l'un sur l'autre, mais qu'ils soient seulement mêlés ensemble, et produisent le blanc par le mélange de leurs couleurs, c'est ce qui paraîtra encore davantage par les preuves suivantes.

Si après avoir mis le papier au delà du foyer on intercepte et laisse passer alternativement le rouge, il n'arrivera par là aucun changement au violet qui reste sur le papier, comme cela devrait être si les différentes espèces de rayons agissaient mutuellement les uns sur les autres au foyer où ils se croisent. Le rouge qui est sur le papier, ne sera pas changé non plus, quoique alternativement on intercepte et laisse passer le violet qui le croise....

Je considérai de plus que, lorsque les rayons les plus réfrangibles et les moins réfrangibles sont, par convergence, inclinés l'un à l'autre, si l'on tenait le papier fort oblique à ces rayons dans le foyer, il pourrait réfléchir une sorte de rayons en plus grande abondance que toute autre sorte, et que par ce moyen la lumière réfléchie dans ce foyer serait teinte de la couleur des rayons prédominants, pourvu que ces rayons retinssent chacun leurs couleurs, ou qualités colorifiques dans le blanc

composé qu'ils produisent dans ce foyer-là. Car s'ils ne les retenaient point dans ce blanc-là, mais que, chacune à part, elles s'y trouvassent toutes disposées à exciter en nous un sentiment de blanc, elles ne pourraient plus perdre leur blancheur par ces sortes de réflexions. J'inclinai donc fort obliquement le papier vers les rayons afin que les rayons les plus réfrangibles pussent être réfléchis en plus grande abondance que les autres; et bientôt la blancheur se changea successivement en bleu, indigo et violet. Après cela, j'inclinai le papier du côté opposé, afin que les rayons les moins réfrangibles se trouvassent dans la lumière réfléchie, en plus grande quantité que les autres; et la blancheur se changea successivement en jaune, orangé et rouge.

Enfin je fis un instrument en forme de peigne dont les dents au nombre de 16 avaient environ 1 pouce 1/2 de large, les intervalles des dents comprenant environ 2 pouces. Après quoi, interposant successivement les dents de cet instrument tout auprès de la lentille, j'interceptai une partie des couleurs par le moyen de la dent interposée, tandis que les autres couleurs passant à travers l'intervalle de la dent, allaient tomber sur le papier et y peignaient une image solaire de figure ronde. D'abord je plaçai le papier de telle manière que l'image pût paraître blanche toutes les fois qu'on retirait le peigne; après quoi, le peigne étant interposé comme il vient d'être dit, il arrivait qu'à cause de la partie des couleurs interceptées tout près de la lentille, cette blancheur se changeait toujours en une couleur composée des couleurs qui n'étaient pas interceptées; et par le mouvement du peigne cette couleur variait continuellement, de sorte que chaque dent passant à son tour par-dessus la lentille, toutes ces couleurs, le rouge, le jaune, le vert, le bleu et le pourpre se succédaient toujours l'une l'autre. Je fis donc passer successivement toutes les dents sur la lentille; et lorsqu'elles passaient lentement, on voyait une perpé-

tuelle succession de couleurs sur le papier. Mais si je les faisais passer si rapidement que les couleurs ne pussent point être distinguées l'une de l'autre à cause qu'elles se succédaient trop vite, chacune de ces couleurs disparaissait entièrement en apparence. On ne voyait plus ni rouge, ni jaune, ni vert, ni bleu, ni pourpre : mais du mélange confus de toutes ces couleurs il en provenait une seule couleur d'un blanc uniforme : et cependant nulle partie de la lumière que le mélange de toutes ces couleurs faisait alors paraître blanche, n'était réellement blanche. Une partie était rouge, l'autre jaune, une troisième verte, une quatrième bleue, et une cinquième pourpre. Ainsi chaque partie retient sa propre couleur jusqu'à ce qu'elle vienne à frapper le *sensorium*. Lorsque les impressions s'entre-suivent si lentement qu'elles peuvent être aperçues chacune à part, il se fait une sensation distincte de toutes les couleurs l'une après l'autre dans une succession continuelle. Mais si les impressions se suivent si promptement qu'elles ne puissent point être aperçues chacune à part, il se fait de toutes ensemble une sensation commune qui n'est d'aucune couleur en particulier, mais participe indifféremment de toutes; et c'est une sensation de blancheur. La rapidité des successions fait que les impressions des différentes couleurs sont confondues dans le *sensorium*; et cette confusion produit une sensation mixte. Si un charbon allumé est rapidement agité en rond par des tournoiements continuellement répétés, on voit un cercle entier qui paraît tout en feu; et la raison de cela, c'est que le sentiment qu'excite le charbon ardent dans les différentes parties de ce cercle, reste imprimé sur le *sensorium* jusqu'à ce que le charbon revienne encore au même endroit. Ainsi lorsque les couleurs s'entre-suivent avec une extrême rapidité, l'impression de chaque couleur reste dans le *sensorium*, jusqu'à ce qu'une révolution de toutes les couleurs soit achevée, et que la première couleur revienne encore; de

sorte que les impressions de toutes les couleurs qui s'entre-suivent si rapidement, se trouvent tout à la fois dans le *sensorium*, et y excitent conjointement une sensation de toutes ces couleurs. Il est donc évident par cette expérience, que les impressions de toutes les couleurs étant mêlées et comme confondues ensemble, excitent et produisent une sensation de blanc, c'est-à-dire que la blancheur est composée de toutes les couleurs mêlées ensemble.

Et si maintenant nous retirons le peigne, pour que toutes les couleurs puissent passer à la fois, de la lentille au papier, y être mêlées, et réfléchies ensemble de là aux yeux des spectateurs, leurs impressions sur le *sensorium* étant dès lors plus finement et plus parfaitement entre-mêlées, y doivent exciter une plus forte sensation de blancheur....

Enfin essayant de composer du blanc en mêlant ensemble les poudres colorées dont se servent les peintres, j'ai observé que toutes les poudres colorées suppriment et éteignent au dedans d'elles-mêmes une partie considérable de la lumière d'où elles tirent tout leur éclat. Car elles deviennent colorées en réfléchissant la lumière de leur propre couleur en plus grande quantité et celle des autres couleurs en moindre quantité; et cependant elles ne réfléchissent pas la lumière de leurs propres couleurs en si grande abondance que le font les corps blancs. Si, par exemple, on expose de la mine de plomb rouge et un papier blanc à la lumière rouge du spectre coloré qu'on aura formé dans une chambre obscure par réfraction d'un prisme, le papier paraîtra plus lumineux que le vermillon; et par conséquent il réfléchit les rayons qui font le rouge en plus grande abondance que ne fait le vermillon. Et si on les tient exposés à la lumière de quelque autre couleur, la lumière réfléchie par le papier surpassera dans une beaucoup plus grande proportion la lumière qui sera réfléchie par le vermillon. Il en est de même à l'égard des poudres de toute autre couleur. Et par conséquent nous ne devons point attendre que le mélange de ces

sortes de poudres produise un blanc clair et net, comme celui du papier; mais seulement un blanc sombre et obscur, tel que peut produire un mélange de lumière et d'obscurité, ou de blanc et de noir, c'est-à-dire une espèce de gris ou de brun.... Ainsi ayant mis ensemble 1 partie de mine de plomb rouge et 5 parties de vert-de-gris, je composai une couleur brune semblable à celle d'une souris. Car ces deux couleurs prises à part étaient composées à tel point des autres couleurs, qu'étant mises ensemble, elles faisaient un mélange de toutes les couleurs; et j'employai moins de mine de plomb que de vert-de-gris, parce que la couleur de la mine de plomb est beaucoup plus éclatante. De plus, avec 1 partie de mine de plomb et 4 parties d'azur, je composai une couleur brune tirant un peu sur le pourpre et ayant ajouté à cela un certain mélange d'orpiment et de vert-de-gris dans une juste proportion, cette couleur perdit sa teinte de pourpre, et devint parfaitement brune, d'un brun clair. Mais l'expérience réussit beaucoup mieux sans mine de plomb, de la manière que je vais l'exposer. A l'orpiment j'ajoutai peu à peu d'un certain pourpre vif et éclatant dont les peintres ont accoutumé de se servir, jusqu'à ce que l'orpiment cessât d'être jaune et devînt rouge pâle. Je commençai alors à détremper ce rouge en y mêlant un peu de vert-de-gris, et un peu plus d'azur jusqu'à ce qu'il parût d'un tel gris ou blanc pâle, qu'il n'approchait pas plus de l'une des susdites couleurs que de l'autre. Car par là le tout prit la couleur d'un blanc pareil à celui des cendres, etc. Comme l'orpiment réfléchissait plus de lumière qu'aucune des autres poudres, il contribuait plus que le reste à la blancheur de cette couleur composée. Parce que les poudres de la même espèce ont différents degrés de bonté, il est assez difficile d'en assigner exactement les proportions. Mais selon que la couleur d'une poudre est plus ou moins foncée et lumineuse, il faut en l'employant diminuer ou augmenter la dose.

Or comme ces couleurs grises et brunes peuvent être aussi produites par un mélange de blanc et de noir, et qu'elles ne diffèrent point par conséquent du blanc parfait, en espèce de couleurs, mais seulement en degré de clarté, il est évident que pour les rendre parfaitement blanches, il n'est besoin que d'en augmenter suffisamment l'éclat : et, au contraire, si en les rendant plus lumineuses on peut les porter à un parfait degré de blancheur, il s'ensuit encore de là, que ces couleurs sont en effet de la même espèce de couleur que les blancs les plus parfaits; et qu'ils n'en diffèrent que par la quantité de lumière. C'est de quoi j'eus occasion de me convaincre par l'expérience que voici. Ayant pris un tiers du dernier mélange gris, mentionné ci-dessus (je veux dire qui était composé d'orpiment, de pourpre, d'azur et de vert-de-gris), j'en mis une couche assez épaisse sur le plancher de ma chambre dans l'endroit où le soleil donnait dessus, au travers d'une fenêtre ouverte; et je plaçai dans l'ombre, tout auprès de cet enduit, un morceau de papier blanc de la même grandeur. Après quoi, reculant à 12 ou 18 pieds de distance de là, en sorte que je ne pouvais plus discerner l'inégalité de la surface de la poudre, ni les petites ombres que produisaient ses particules graveleuses, cette poudre me parut d'un blanc si éclatant qu'il surpassait même celui du papier, surtout si le papier était un peu ombragé par l'interception de la lumière réfléchie par les nuées; et, en ce cas-là, le papier comparé à la poudre paraissait d'un gris pareil à celui dont la poudre avait paru auparavant. Mais en mettant le papier dans un endroit où le soleil donne à travers les vitres de la fenêtre, ou en fermant la fenêtre pour que le soleil donne sur les poudres au travers des vitres, ou bien en augmentant ou diminuant par tel autre moyen la lumière qui illumine les poudres et le papier, on peut rendre la lumière qui illumine les poudres, plus forte en telle proportion convenable que celle qui éclaire le papier, de sorte que les poudres et

le papier paraîtront d'un degré de blancheur absolument égal. Car, dans le temps que je faisais cette expérience, un ami m'étant venu voir, je l'arrêtai à la porte de la chambre; et avant que de lui rien dire des couleurs qu'on voyait sur le plancher, ni du papier qui était auprès, ni de ce que je me proposais de faire, je lui demandai lequel de ces deux blancs était le meilleur, et en quoi ils différaient l'un de l'autre : et après qu'il les eut regardés attentivement à cette distance, il me répondit que c'étaient deux fort bons blancs; et qu'il ne pouvait point déterminer lequel était le meilleur, ni ce qui en faisait la différence. Or si l'on considère que le blanc de la poudre exposée au soleil était composé des couleurs que les poudres dont cette poudre est composée (savoir l'orpiment, le pourpre, l'azur et le vert-de-gris) ont chacune à part lorsqu'elles sont exposées au même soleil, on doit nécessairement conclure de cette expérience, que les différentes couleurs mêlées ensemble peuvent faire un blanc parfait.

De ce que je viens de dire, il s'ensuit évidemment encore, que la blancheur de la lumière du soleil est composée de toutes les couleurs que les différentes espèces de rayons qui forment cette lumière, donnent au papier ou à tout autre corps blanc sur lequel ils tombent, lorsqu'ils sont séparés l'un de l'autre par leurs différentes réfrangibilités. Car ces couleurs sont inaltérables, et toutes les fois que tous ces rayons avec ces couleurs-là sont de nouveau mêlés ensemble, ils reproduisent la même lumière blanche qu'auparavant.... (Newton, *Optique*, traduction Coste, liv. I.)

L'arc-en-ciel.

L'arc-en-ciel [1] ne paraît jamais qu'où il pleut, le soleil éclairant actuellement; et l'on peut former des arcs-en-ciel par art en faisant jaillir de l'eau qui, poussée en l'air et

1. *Optique*, liv. I, p. 220.

dispersée en gouttes, vienne à tomber en forme de pluie. Car le soleil donnant sur ces gouttes fait voir certainement un arc-en-ciel à tout spectateur qui se trouve dans une juste position à l'égard de cette pluie et du soleil. Aussi est-ce présentement une chose reconnue, que l'arc-en-ciel est formé par la réfraction de la lumière du soleil dans des gouttes de pluie. C'est ce que quelques anciens avaient compris, et qui a été pleinement découvert et expliqué dans ces derniers temps par le fameux *Antoine de Dominis*, archevêque de Spalato, dans son livre *de Radiis visus et lucis*, publié à Venise en 1611, par son ami *Bartolus*, mais composé plus de vingt ans auparavant. Car il montre dans ce livre comment l'arc-en-ciel intérieur est produit dans des gouttes rondes de pluie par deux réfractions de la lumière solaire, et une réflexion entre deux, et l'extérieur par deux réfractions et deux sortes de réflexions entre deux, qui sont faites dans chaque goutte de pluie; vérifiant ses explications par des expériences qu'il fait avec une fiole pleine d'eau, et avec des boules de verre remplies d'eau et exposées au soleil pour y faire voir les couleurs des deux arcs, l'extérieur et l'intérieur. *Descartes*, qui a suivi cette explication dans les météores, a corrigé celle de l'arc extérieur. Mais comme ces deux savants hommes n'entendaient point la véritable origine des couleurs, il est nécessaire d'examiner ici cette matière avec un peu plus de précision....

Suit l'explication des auteurs par l'inégale réfrangibilité des rayons diversement colorés.

Le second livre de l'*Optique* traite des couleurs naturelles des corps et des couleurs des lames minces. Dans la dernière partie de ce livre se trouvent aussi décrits les phénomènes des lames épaisses, que Newton a observés pour la première fois.

Le troisième et dernier livre est consacré à l'étude des phénomènes de diffraction ou d'inflexion, découverts par Grimaldi. On sait qu'on appelle franges de diffraction les alternatives d'ombre et de lumière qu'on observe soit en dehors, soit à

l'intérieur des limites de l'ombre géométrique d'un corps mince : un cheveu, un fil, une lame de couteau, éclairé par un faisceau lumineux. Newton ne s'explique pas d'une manière précise sur la cause de ce phénomène; mais il est encore porté à mettre en jeu une attraction, et à admettre des rayons de différente inflexion, comme il avait admis des rayons différemment réflexibles et réfrangibles.

Ce troisième livre se termine par les paroles suivantes qui témoignent suffisamment, avec celles de la préface, des réserves mises par Newton à plusieurs de ses explications :

Dans le temps que je faisais ces observations, dit-il, j'avais dessein d'en répéter la plus grande partie avec plus d'exactitude, et d'en faire quelques autres toutes nouvelles pour déterminer la manière dont les rayons de lumière se plient en passant près des corps, pour produire des franges colorées avec des lignes obscures entre deux. Mais d'autres occupations vinrent alors m'interrompre [1], et présentement je ne saurais me résoudre à rentrer dans l'examen de ces choses. Et puisque je n'ai pas fini cette partie de mon dessein, je me contenterai, pour toute conclusion, de proposer quelques questions qui pourront engager d'autres personnes à pousser plus loin ces sortes de recherches.

Viennent alors les 31 questions « qui servent, dit Newton, de conclusion à tout l'ouvrage ».

Ces points d'interrogation d'un homme de génie ont été trop longtemps négligés et, à ce qu'il semble, systématiquement négligés par les admirateurs de Newton, aussi bien du reste que les réserves nombreuses dont il a entouré, on l'a vu plus haut, la partie didactique de son livre. On dirait qu'en publiant ces doutes, ils aient craint, bien à tort, de diminuer ce grand homme.

La plupart de ces questions ont trait à l'optique. Avec l'idée,

1. A l'époque où Newton écrivait ces lignes, en 1704, il se consacrait de plus en plus à ses doubles fonctions de directeur de la Monnaie et de président de la Société Royale. — J. G.

évidemment chère à Newton, d'une attraction exercée par les corps sur la lumière, plusieurs points de la théorie des ondulations, notamment la comparaison des couleurs aux sons de différentes hauteurs, s'y trouvent développés avec une netteté surprenante. Il ne paraît pas douteux, après avoir lu ces questions, que Newton a longtemps, toujours peut-être, hésité entre la théorie des ondulations et celle de l'émission; qu'en tous cas, comme le dit Poggendorff, il n'a jamais attribué à cette dernière, l'infaillibilité qu'elle a acquise plus tard aux yeux de ses partisans. « Newton, dit encore Poggendorff (*loc. cit.*, p. 421), aborde également le phénomène de la *double réfraction*. Bien qu'il connût l'écrit de Huyghens, qu'il cite, il ne donne pas la loi de la réfraction du rayon extraordinaire trouvée par ce dernier; il en donne une autre qui est fausse. Ainsi une théorie préconçue influe sur le jugement du grand homme; à cela s'ajoutait peut-être une certaine animosité contre Huyghens.... »

« Enfin Newton parle aussi du phénomène de la *polarisation*. Il ne parvient pas plus à l'expliquer que celui de la double réfraction. Il se demande néanmoins si on ne parviendrait pas à l'expliquer en attribuant aux côtés du rayon des propriétés différentes. Il cherche ainsi à pallier les défauts de sa théorie en attribuant à chaque fois des propriétés nouvelles aux particules lumineuses.... On peut être un admirateur sincère de Newton et cependant reconnaître avec Fresnel que l'*Optique* est le plus faible ouvrage de ce grand esprit. »

Voici quelques-unes de ces questions :

Question VIII. — Tous les corps fixes, lorsqu'ils sont chauffés au delà d'un certain degré, jettent de la lumière et brillent; et cette *émission* n'est-elle pas produite par les vibrations de leurs parties?...

Question X. — La flamme, n'est-ce pas une vapeur, une fumée, ou une exhalaison qui est échauffée jusqu'à être ardente, c'est-à-dire qui a contracté un tel degré de chaleur qu'elle en est toute brillante de lumière?...

Question XIII. — Des rayons de différente espèce ne produisent-ils pas des vibrations de différentes grandeurs, lesquelles vibrations excitent, selon leurs grandeurs, des

sensations de différentes couleurs, à peu près de la même manière que les vibrations de l'air causent, selon leurs différentes grandeurs, des sensations de différents sons? Et en particulier les rayons les plus réfrangibles ne produisent-ils pas les plus courtes vibrations pour exciter la sensation d'un violet foncé; les moins réfrangibles, les vibrations les plus étendues pour causer la sensation d'un rouge foncé; et les différentes espèces de rayons intermédiaires, les vibrations de différentes grandeurs intermédiaires pour exciter les sensations des différentes couleurs intermédiaires?

Question XIV. — L'harmonie et la discordance des couleurs ne pourraient-elles pas venir des proportions des vibrations propagées dans le cerveau par les fibres des nerfs optiques, comme l'harmonie et la dissonance des sons viennent des proportions des vibrations de l'air? Car il y a certaines couleurs qui, regardées ensemble, assortissent fort bien comme celles de l'or et de l'indigo; et d'autres qui n'assortissent nullement ensemble.

Question XVIII. — Si, après avoir suspendu, dans deux larges et longs vases de verre cylindriques, deux petits thermomètres, de sorte qu'ils ne touchent point les vases et qu'on les transporte ensuite tous deux, d'un lieu froid dans un lieu chaud, le thermomètre qui est dans le vide deviendra aussi chaud et presque aussitôt que le thermomètre qui n'est pas dans le vide. Et si l'on rapporte les deux vases dans le lieu froid, le thermomètre qui est dans le vide se refroidira presque aussitôt que l'autre. La chaleur du lieu chaud n'est-elle pas communiquée à travers le vide par les vibrations du milieu beaucoup plus subtil que l'air, lequel milieu reste dans le vide après qu'on en a pompé l'air? Et ce milieu n'est-il pas le même que le milieu qui rompt et réfléchit la lumière, et par les vibrations duquel la lumière échauffe les corps, et est mise dans des *accès de facile réflexion* et de *facile transmission*? Et les vibrations de ce milieu ne contribuent-elles pas à la véhémence et à

la durée de leur chaleur? Et les corps chauds ne communiquent-ils pas leur chaleur aux corps froids contigus, par les vibrations de ce milieu, propagées des corps chauds dans les corps froids? Et ce milieu n'est-il pas excessivement plus rare et plus subtil que l'air, et excessivement plus élastique et plus actif? Ne pénètre-t-il pas promptement tous les corps? Et par sa force élastique n'est-il point répandu dans tous les cieux?

Dans les questions XIX, XX, XXI, Newton examine ce que peuvent être les propriétés et les effets de ce milieu qu'il appelle d'abord *milieu éthéré*, puis *éther*; il est conduit, en comparant les vitesses du son et de la lumière, à lui attribuer une élasticité $700\ 000^2$, c'est-à-dire 490 000 000 000 fois plus grande que l'air. Il termine ainsi la question XXI :

Si l'on suppose que l'*éther*, comme notre air, soit composé de particules qui tâchent à s'écarter les unes des autres (car je ne sais ce que c'est que cet *éther*) et que ses particules soient excessivement plus petites que celles de l'air, ou même que celles de la lumière, l'excessive petitesse de ses particules peut contribuer à la grandeur de la force par laquelle ces particules peuvent s'écarter les unes des autres, et par là rendre ce milieu excessivement plus rare et plus élastique que l'air, et par conséquent excessivement moins capable de résister aux mouvements des corps jetés et excessivement plus capable de presser les corps grossiers, par l'effort qu'il fait pour se dilater.

Question XXIII. — La vision n'est-elle pas principalement produite par les vibrations de ce milieu, excitées dans le fond de l'œil par les rayons de lumière, et propagées par les fibrilles solides, diaphanes et uniformes des nerfs optiques jusqu'au lieu des sensations? L'ouïe n'est-elle pas aussi produite par les vibrations de ce milieu ou de quelque autre, excitées dans les nerfs acoustiques par les trémoussements de l'air et propagées par les fibrilles

solides, diaphanes et uniformes de ces nerfs jusqu'au lien des sensations? et ainsi des autres sens.

QUESTION XXVI. — Les rayons de lumière n'ont-ils pas différents côtés, doués de différentes propriétés originaires?...

QUESTION XXVIII. — Toutes les hypothèses qui font consister la lumière dans une pression [1] ou un mouvement propagé au travers d'un milieu fluide [2], ne sont-elles pas erronées, puisque dans toutes ces hypothèses on a expliqué jusqu'ici les phénomènes de la lumière en supposant qu'ils sont produits par de nouvelles modifications des rayons, supposition directement fausse.

Si la lumière ne consistait que dans une pression propagée sans mouvement actuel, elle ne serait pas capable d'agiter et d'échauffer les corps qui la rompent et la réfléchissent. Si elle consistait en un mouvement qui, en un instant, fût propagé à toutes sortes de distances, il faudrait que chaque partie lumineuse eût à chaque instant une force infinie, pour produire ce mouvement. Et si la lumière consistait dans une pression ou un mouvement propagé à travers un milieu fluide, ou dans un instant ou dans un certain intervalle de temps, elle se plierait dans l'ombre [3]. Car une pression ou un mouvement ne peut être propagé dans un fluide en ligne droite au delà d'un obstacle qui arrête une partie de ce mouvement, mais doit se plier et se répandre de tous côtés dans le milieu qui est en repos au delà de l'obstacle.

.... Les philosophes modernes ont imaginé des hypothèses pour expliquer toutes choses mécaniquement, ren-

1. C'est l'hypothèse de Descartes, trop longtemps confondue avec celle de Huyghens dont elle est cependant bien différente. — J. G.

2. C'est l'hypothèse de Huyghens ou *hypothèse des ondulations*. — Il est bien curieux de voir ici Newton combattre si vivement cette hypothèse, après avoir indiqué lui-même (questions XIII et XIV) comment elle permet d'expliquer, ce que Huyghens n'avait pas aperçu, la production des différentes couleurs du spectre. — J. G.

3. C'est en effet ce qui a lieu. — J. G.

voyant les autres causes à la métaphysique; au lieu que la grande et principale affaire qu'on doit se proposer dans la physique, c'est de raisonner sur les phénomènes sans le secours d'hypothèses imaginaires; de déduire les causes des effets, jusqu'à ce qu'on soit parvenu à la *Cause première*, qui certainement n'est point mécanique; et d'expliquer non seulement le mécanisme du monde, mais surtout de résoudre ces questions et autres semblables : *Qu'est-ce qu'il y a dans les lieux presque vides de matière? d'où vient que le soleil pèse vers les planètes, et les planètes vers le soleil, sans qu'il y ait de la matière entre deux ? d'où vient que la nature ne fait rien en vain? et d'où procède tout cet ordre et toute cette beauté que nous voyons dans le monde? A quelle fin ont été faites les comètes? et d'où vient que les planètes se meuvent toutes du même sens en orbes concentriques, au lieu que les comètes se meuvent souvent en orbes fort excentriques, suivant toute sorte de déterminations? et qu'est-ce qui empêche les étoiles fixes de tomber les unes sur les autres? d'où vient que les corps des animaux ont été composés avec tant d'art; et pour quelles fins ont été formées leurs différentes parties? L'œil a-t-il été fabriqué sans aucune connaissance d'optique; et l'oreille sans aucune connaissance des sons? Comment est-ce que les mouvements du corps dépendent de la volonté? Qu'est-ce que l'instinct dans les bêtes? et si le* sensorium *des animaux n'est pas l'endroit où la substance sensitive est présente, et où les espèces sensibles des choses sont portées par les nerfs et le cerveau pour pouvoir y être aperçues en étant immédiatement présentes à cette substance.* Et ces choses dûment expliquées, ne paraît-il pas, par les phénomènes, qu'il y a un Être incorporel, vivant, intelligent, tout présent, qui dans l'espace infini, comme si c'était dans son *sensorium*, voit intimement les choses en elles-mêmes, les aperçoit, les comprend entièrement et à fond, parce qu'elles lui sont immédiatement présentes : desquelles choses comme il n'y a que les *images* qui par les organes des sens soient introduites dans

le petit endroit ou se forment nos sensations, ce qui sent et pense en nous, ne voit et ne contemple là que ces images toutes simples? Quoique chaque pas que nous faisons réellement dans cette philosophie ne nous conduise pas immédiatement à la connaissance de la *Cause première*, il nous en approche toujours plus; et par cette raison, c'est une manière de philosopher très estimable. (NEWTON, l'*Optique*, liv. III.)

La 31e question a trait à la chimie; nous y reviendrons plus loin.

CHAPITRE II

HUYGHENS — FRESNEL

La double réfraction. — La théorie des ondulations. Les phares.

Dans la magistrale introduction que Verdet a écrite pour la grande édition des œuvres de Fresnel, il fait une histoire complète, et, croyons-nous, définitive, de la théorie des ondulations. Nous en citerons quelques passages avant les pages mêmes de Huyghens.

Les devanciers de Fresnel n'ont guère dépassé ce premier point de vue, où l'on considère la lumière comme un système d'ondes à vibrations indéterminées, ou plutôt ils ont admis comme évident que ces ondes ne différaient des ondes sonores que par la période des vibrations et la vitesse de propagation. L'idée même d'ondulations et de vibrations périodiques ne s'est formée que par degrés.

Ni Huyghens, ni aucun des auteurs qui, au XVII[e] siècle, ont considéré la lumière comme un mouvement, ne présentent cette idée comme une invention personnelle; ils la traitent comme une de ces hypothèses courantes qui n'appartiennent à personne, mais que chacun est tenu de discuter. Il serait bien difficile d'ailleurs d'assigner le moment où cette hypothèse a été énoncée pour la première fois : on la trouve, à ce qu'il paraît, dans les manuscrits de Léonard de Vinci (voir Libri, *Histoire des mathématiques*

en Italie, t. III, p. 43 en note), et il est à croire qu'elle est beaucoup plus ancienne; si, dès l'origine de la philosophie grecque, le feu a été considéré tantôt comme une matière, tantôt comme un mouvement, ces deux explications ne pouvaient manquer d'être étendues jusqu'à la lumière, qui est un des effets sensibles du feu. Mais le véritable fondateur de la théorie des ondes n'est pas l'alchimiste ou le scolastique chez qui l'on parviendra à en découvrir le premier aperçu plus ou moins explicite; ce titre devra toujours appartenir à celui qui, le premier, a su tirer un corps de doctrine scientifique de ce qui n'était avant lui qu'une vague hypothèse, et personne, à notre avis, ne pourra le disputer à Huyghens.

Descartes, qu'on a l'habitude de citer comme le premier inventeur avant Huyghens, ne considère pas la lumière comme un mouvement propagé par ondes successives, mais comme une pression transmise *instantanément* par l'intermédiaire du second élément; il ne peut d'ailleurs de cette étrange notion déduire l'explication d'aucun phénomène : il ne sait que comparer la réflexion et la réfraction à la réflexion d'une bille qui rencontre un plan solide et à la déviation d'un projectile qui, traversant une surface résistante, comme celle d'une toile bien tendue, conserve la même vitesse de propagation parallèlement à cette surface, tandis que la composante normale de la vitesse est modifiée. Il est difficile de concevoir comment Euler a pu trouver dans cette vaine doctrine une première esquisse de la théorie des ondes, et comment l'assertion d'Euler a pu être répétée par tout le monde; Huyghens, qui probablement avait lu Descartes avec plus d'attention que ses successeurs, présente lui-même son propre système comme entièrement opposé au système cartésien. (Voir le *Traité de la Lumière*, chap. I.)

Young et Arago ont souvent cité Hooke à côté de Huyghens, comme un des fondateurs de la théorie des ondes, et lui ont même attribué la découverte du principe

des interférences. Il est bien vrai que Hooke définit la lumière comme « un mouvement rapide de vibrations de très petite amplitude », *a movement quick, vibratile, of extreme shortness.* (*Micrographia*, p. 55.) Mais ce mouvement aurait, suivant lui, l'inconcevable propriété de se propager instantanément à toute distance et ne différerait guère par conséquent de la pression de Descartes. Hooke revient sans cesse sur cette notion d'une propagation instantanée; il essaye même, dans ses *Lectures on Light* (p. 76 des Œuvres posthumes), de réfuter, par des objections aussi vagues que peu concluantes, les conséquences que Rœmer a tirées de l'observation des satellites de Jupiter. Il est bien évident que l'idée d'une propagation instantanée est incompatible avec celle des interférences; et, en effet, si on lit avec attention l'explication des anneaux colorés, où l'on a voulu trouver le germe de la grande découverte de Young (*Micrographia*, p. 64), on n'y reconnaît que le développement d'une théorie des couleurs assez analogue à celle que plus tard Goethe a vainement tenté de substituer à la théorie de Newton.

Le seul auteur qu'on puisse raisonnablement mentionner comme un devancier d'Huyghens est le jésuite Pardies, connu dans l'histoire de la philosophie par son *Discours de la connaissance des bêtes*, où il réfute l'opinion cartésienne. Le P. Pardies n'a rien publié lui-même sur la théorie de la lumière; mais Huyghens a vu ses manuscrits, et le jugement qu'il en porte dans son *Traité de la Lumière* (p. 18) autorise à penser que les idées du P. Pardies ont été exactement reproduites par le P. Ango, dans son *Optique*, imprimée en 1682. Dans cet ouvrage, comme dans le *Traité de la Lumière*, il n'est jamais question que d'ondes indépendantes, et les difficultés résultant de cette manière d'envisager les choses, que Huyghens n'a pas su résoudre entièrement, ne paraissent pas même être soupçonnées.

Le fondateur de la théorie, Huyghens, n'a jamais égard dans ses raisonnements qu'à l'onde produite par une

impulsion unique des molécules du centre lumineux; il la conçoit bien précédée et suivie d'ondes pareilles se propageant avec la même vitesse et douées des mêmes propriétés; mais comme il ne suppose pas qu'il y ait aucune relation générale entre les mouvements de ces ondes successives [1], il n'en combine jamais les effets, et en particulier la notion de l'interférence constante de deux ondulations qui apporteraient sans cesse en un même point des mouvements opposés l'un à l'autre lui est absolument étrangère. De là une grande lacune dans sa théorie. Lorsque, considérant deux positions successives d'une même onde, il cherche à faire voir que la deuxième onde résulte de la combinaison de toutes les ondes élémentaires qui ont pour centre les divers points de la première, il n'a pas de peine à établir que ces ondes élémentaires ont une enveloppe commune, qui est l'onde dont il s'agit, et qu'au delà de cette envelope il ne saurait y avoir de mouvement; mais il ne prouve pas d'une manière suffisante qu'à l'intérieur de cette enveloppe le mouvement soit insensible. Le lecteur admet volontiers que les ondes élémentaires doivent être constituées de manière que cette condition soit satisfaite, parce qu'il est impossible que deux modes de raisonnement également légitimes conduisent à des conséquences contradictoires; mais cette justification indirecte lui fait défaut lorsque Huyghens traite de la même manière la réflexion et la réfraction, prenant, sans autre démonstration, pour surface de l'onde réfléchie ou réfractée l'enveloppe des ondes élémentaires qui ont pour centres les divers points de la surface réfléchissante ou réfringente [2]. La formation des ombres n'est pas expli-

1. Il dit même précisément le contraire à la page 15 du *Traité de la Lumière*.

2. Si à ces ondes circulaires on substitue par la pensée les ondes *sphériques* par lesquelles la lumière est propagée, on voit, en approfondissant le sujet, qu'à une distance finie de l'onde enveloppe l'intensité des mouvements est moindre que sur l'enveloppe, mais non pas infiniment moindre.

quée d'une manière plus satisfaisante. Néanmoins, malgré toutes ces difficultés non résolues, en substituant une onde au point lumineux qui en est le centre et décomposant cette onde elle-même en une infinité d'éléments dont chacun agit à son tour comme un point lumineux, Huyghens a donné à ses successeurs la méthode féconde qui devait les conduire aux plus importantes découvertes, lorsque la notion de la périodicité des vibrations lumineuses leur serait devenue familière. (VERDET, *Œuvres*, t. I, p. 318.)

Nous donnerons ici quelques détails sur l'illustre rival de Newton et quelques pages de son *Traité de la Lumière.*

« Aucun génie, dit M. J. Bertrand [1], n'a été plus pénétrant que celui de Christian Huyghens, aucun esprit n'a été plus vaste, aucune vie n'a été consacrée avec plus de persévérance et de goût à la contemplation des vérités les plus hautes, à la culture intelligente des arts, au commerce empressé des plus grands esprits de son siècle. »

Né en 1629, à la Haye, son enfance s'est écoulée dans les conditions les plus favorables au développement de son admirable génie. Son père, Constantin Huyghens, seigneur de Zulichem, occupait près des États de Hollande une position élevée; il ne négligea rien pour donner à ses cinq fils une éducation brillante. Bientôt Christian ne fut plus appelé dans sa famille que le jeune Archimède; jamais surnom, d'après M. J. Bertrand, ne fut mieux justifié.

Appelé en France par Colbert en 1665, il reçut de lui un emploi et fut logé à la bibliothèque du Louvre. L'année suivante (1666), il fut compris dans la première liste des membres de l'Académie des sciences. Il publia à Paris, en 1673, et dédia à Louis XIV son principal ouvrage : *Horologium oscillatorium*, application du pendule aux horloges. Il quitta la France en 1681, pour revenir en Hollande. Il visita Newton en 1689. C'est au retour de ce voyage, en 1690, qu'il publia en français le *Traité de la Lumière.* Mais il avait été écrit longtemps auparavant, comme il le dit lui-même dans sa préface :

1. *Journal des Savants*, juillet 1888.

J'écrivis ce Traité pendant mon séjour en France, il y a douze ans, et je le communiquai en l'année 1678 aux personnes sçavantes qui composaient alors l'Académie Royale des Sciences, à laquelle le Roy m'avait fait l'honneur de m'appeler. Plusieurs de ce corps qui sont encore en vie pourront se souvenir d'avoir été présents quand j'en fis la lecture, et mieux que les autres ceux d'entre eux qui s'appliquaient particulièrement à l'étude des mathématiques. desquels je ne puis plus citer que les célèbres Messieurs Cassini, Romer et de la Hire. Et quoyque depuis j'y aye corrigé et changé plusieurs endroits, les copies que j'en fis faire dès ce temps-là, pourraient servir de preuve, que je n'y ai pourtant rien ajouté, si ce n'est des conjectures touchant la formation du cristal d'Islande et une nouvelle remarque sur la réfraction du cristal de roche....

(A la Haye, le 8 janv. 1690.)

« Ce travail suffirait à Huyghens, dit avec raison Poggendorff[1], pour lui assurer l'immortalité; et cependant, par une étrange injustice, il resta méconnu jusqu'au moment où un homme de génie, Fresnel, soutenu par Arago, après avoir livré un rude assaut contre les newtoniens, Biot et Poisson, remporta sur ses adversaires la plus brillante victoire, et justifia en même temps de la manière la plus complète la théorie de Huyghens. »

Huyghens mourut en 1675 à la Haye. S'Gravesande a donné en 1728 à Leyde une bonne édition de ses œuvres. Les papiers de Huyghens avaient été légués par lui à la bibliothèque de Leyde. Uylenbroek les examina en 1833, et en signala l'extrême intérêt, en en faisant connaître une partie. La Société hollandaise des sciences a entrepris la publication des œuvres complètes de l'illustre savant. Le premier volume, contenant sa correspondance de 1638 à 1656, a paru en 1888, à la Haye, chez Martinus Nyhoff. Le *Traité de la Lumière* en français a été publié de nouveau à part, chez Gressner et Schramm, à Leipsick. (1 vol. in-4 de 132 pages), avec un portrait de Chr. Huyghens.)

1. *Histoire de la Physique*, p. 394 et 396.

Il existe au Musée Royal de la Haye un intéressant et très beau tableau de Van Dyck, représentant Constantin Huyghens entouré de ses cinq enfants. Chaque portrait se trouve dans un médaillon distinct : celui du père entouré par les portraits de ses fils; au-dessous est un cartouche avec cette inscription : *Ecce hereditas Domini.* — Ce tableau fut peint en 1640 pendant le dernier voyage du grand artiste en Hollande. Il mourut l'année suivante. Christian Huyghens avait alors onze ans.

Traité de la Lumière.

Chap. I. — *Des rayons directement étendus.*

Les démonstrations qui concernent l'optique, ainsi qu'il arrive dans toutes les sciences où la géométrie est appliquée à la matière, sont fondées sur des vérités tirées de l'expérience; telles que sont que les rayons de lumière s'étendent en droite ligne; que les angles de réflexion et d'incidence sont égaux; et que dans les réfractions le rayon est rompu suivant la règle des sinus, désormais si connue, et qui n'est pas moins certaine que les précédentes.

La plupart de ceux qui ont écrit touchant les différentes parties de l'optique se sont contentés de présupposer ces vérités. Mais quelques-uns plus curieux en ont voulu rechercher l'origine, et les causes, les considérant elles-mêmes comme des effets admirables de la Nature....

L'on ne saurait douter que la lumière ne consiste dans le mouvement de certaine matière. Car, soit qu'on regarde sa production, on trouve qu'icy sur la Terre c'est principalement le feu et la flamme qui l'engendrent, lesquels contiennent sans doute des corps qui sont dans un mouvement rapide, puisqu'ils dissolvent et fondent plusieurs autres corps des plus solides : soit qu'on regarde ses effets, on voit que, quand la lumière est ramassée, comme par des miroirs concaves, elle a la vertu de brûler comme le feu, c'est-à-dire qu'elle désunit les parties des corps;

ce qui marque assurément du mouvement, au moins dans la vraie philosophie, dans laquelle on conçoit la cause de tous les effets naturels par des raisons de mécanique. Ce qu'il faut faire, à mon avis, ou bien renoncer à toute espérance de jamais rien comprendre dans la Physique.

Et comme suivant cette Philosophie, l'on tient pour certain que la sensation de la vue n'est excitée que par l'impression de quelque mouvement d'une matière qui agit sur les nerfs au fond de nos yeux, c'est encore une raison de croire que la lumière consiste dans un mouvement de la matière qui se trouve entre nous et le corps lumineux.

De plus, quand on considère l'extrême vitesse dont la lumière s'étend de toutes parts, et que, quand il en vient de différents endroits, mesme de tout opposés, elles se traversent l'une l'autre sans s'empêcher; on comprend bien que quand nous voyons un objet lumineux, ce ne sçaurait être par le transport d'une matière, qui depuis cet objet s'en vient jusqu'à nous, ainsi qu'une balle ou une flèche traverse l'air : car assurément cela répugne trop à ces deux qualités de la lumière, et surtout à la dernière. C'est donc d'une autre manière qu'elle s'étend, et ce qui nous peut conduire à la comprendre, c'est la connaissance que nous avons de l'extension du Son dans l'air.

Nous savons que par le moyen de l'air, qui est un corps invisible et impalpable, le Son s'étend tout à l'entour du lieu où il a été produit, par un mouvement qui passe successivement d'une partie de l'air à l'autre, et que l'extension de ce mouvement se faisant également vite de tous côtez, il se doit former comme des surfaces sphériques, qui s'élargissent toujours et qui viennent frapper notre oreille. Or il n'y a point de doute que la lumière ne parvienne aussi depuis le corps lumineux jusqu'à nous par quelque mouvement imprimé à la matière qui est entre deux : puisque nous avons déjà vu que ce ne peut pas

être par le transport d'un corps qui passerait de l'un à l'autre. Que si avec cela la lumière employe du temps à son passage, ce que nous allons examiner maintenant, il s'ensuivra que ce mouvement imprimé à la matière est successif, et que par conséquent il s'étend ainsi que celui du son, par des surfaces et des ondes sphériques : car je les appelle ondes à la ressemblance de celles que l'on voit se former dans l'eau quand on y jette une pierre, qui représentent une telle extension successive en rond, quoique provenant d'une autre cause, et seulement dans une surface plane.

Pour voir donc si l'extension de la lumière se fait avec le temps, considérons premièrement s'il y a des expériences qui nous puissent convaincre du contraire. Quant à celles que l'on peut faire ici sur la terre, avec des feux mis à de grandes distances, quoy qu'elles prouvent que la lumière n'employe point de temps sensible à passer ces distances, on peut dire avec raison qu'elles sont trop petites et qu'on n'en peut conclure sinon que le passage de la lumière est extresmement viste. M. Descartes qui estait d'opinion qu'elle est instantanée, se fondait, non sans raison, sur une bien meilleure expérience tirée des éclipses de lune : laquelle pourtant, comme je feray voir, n'est point convaincante.

Il suffit en effet d'admettre que la vitesse de la lumière soit assez grande pour que celle-ci ne mette que quelques secondes à aller de la lune à la terre.

Il est vray, continue Huyghens, que c'est supposer une étrange vitesse qui serait cent mille fois plus grande que celle du son. Car le son, selon ce que j'ay observé, fait environ 180 toises dans le temps d'une seconde ou d'un battement d'artère. Mais cette supposition ne doit pas sembler avoir rien d'impossible; parce qu'il ne s'agit point du transport d'un corps avec tant de vitesse, mais d'un mouvement successif, qui passe des uns aux autres.

Je n'ay donc pas fait difficulté, en méditant ces choses, de supposer que l'émanation de la lumière se faisait avec le temps, voyant que par là tous ses phénomènes se pouvaient expliquer, et qu'en suivant l'opinion contraire tout estait incompréhensible. Car il m'a toujours semblé, et à beaucoup d'autres avec moy, que même M. Descartes, qui a eu pour but de traiter intelligiblement de tous les sujets de physique, et qui assurément y a beaucoup mieux réussi que personne devant lui, n'a rien dit qui ne soit plein de difficultés, ou mesme inconcevable, en ce qui est de la lumière et de ses propriétés.

Mais ce que je n'employais que comme une hypothèse, a reçu depuis peu grande apparence d'une vérité constante, par l'ingénieuse démonstration de M. Rœmer que je vay rapporter ici, en attendant qu'il donne luy-mesme tout ce qui doit servir à la confirmer. Elle est fondée de même que la précédente sur des observations célestes et prouve non seulement que la lumière employe du temps à son passage, mais aussi fait voir combien elle employe de temps et que sa vitesse est encore pour le moins six fois plus grande que celle que je viens de dire.

Il se sert pour cela des éclipses que souffrent les petites planètes qui tournent autour de Jupiter, et qui entrent souvent dans son ombre; et voici quel est son raisonnement. Soit (fig. 12) A le soleil, BCDE l'orbe annuel de la terre, F Jupiter, GN l'orbite du plus proche de ses satellites, car c'est celuy-cy qui est plus propre à cette recherche qu'aucun des trois autres, à cause de la vitesse de sa révolution. Que G soit ce satellite entrant dans l'ombre de Jupiter, H le mesme sortant de l'ombre.

Supposé donc que la Terre étant en B, quelque temps devant la dernière quadrature, l'on ait vu sortir le dit satellite de l'ombre; il faudrait si la terre demeurait en ce mesme lieu, qu'après quarante-deux heures et demie l'on vît encore une pareille émersion; parce que c'est le temps dans lequel il fait le tour de son orbite, et qu'il

revient à l'opposition du soleil. Et si la Terre demeurait toujours en B pendant 30 révolutions, par exemple, de ce satellite, elle verrait encore sortir de l'ombre après 30 fois quarante-deux heures et demie. Mais la terre s'estant transportée pendant ce temps en C, en s'éloignant davantage de Jupiter, il s'ensuit que si la lumière employe du

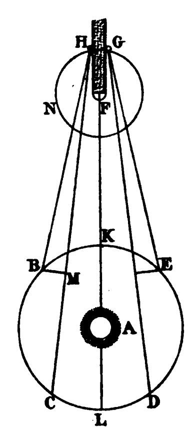


Fig. 12.

temps à son passage, l'illumination de la petite planète sera aperçue plus tard en C qu'elle ne l'aurait été en B, et qu'il faut adjouter, à ce temps de 30 fois quarante-deux heures et demie, encore celuy qu'emploie la lumière à passer l'espace MC, différence des espaces CH, BH. De mesme vers l'autre quadrature, quand la Terre depuis D est venue en E, en s'approchant de Jupiter, les immersions du satellite G dans l'ombre doivent s'observer auparavant en E, qu'elles n'auraient paru si la Terre était demeurée en D.

Or par quantité d'observations de ces éclipses, faites pendant dix ans consécutifs, ces différences se sont trou-

vées très considérables, comme de dix minutes, et davantage, et l'on en a conclu que pour traverser tout le diamètre de l'orbe annuel KL, qui est le double de la distance d'icy au soleil, la lumière a besoin d'environ 22 minutes de temps [1]....

Mais le son, comme j'ay dit ci-devant, ne fait que 180 toises dans le mesme temps d'une seconde : donc la vitesse de la lumière est plus de six cent mille fois plus grande que celle du son : ce qui pourtant est toute autre chose que d'estre momentanée, puisqu'il y a la même différence que d'une chose finie à une infinie. Or le mouvement successif de la lumière estant confirmé de cette manière, il s'ensuit, comme j'ay déjà dit, qu'il s'étend par des ondes sphériques, ainsi que le mouvement du son.

Mais si l'un et l'autre se ressemblent en cela, ils diffèrent en plusieurs autres choses : sçavoir en la première production du mouvement qui les cause; en la matière dans laquelle ce mouvement s'étend; et en la manière dont il se communique. Car pour ce qui est de la production du son, on sait que c'est par l'ébranlement subit d'un corps tout entier ou d'une partie considérable, qui agite tout l'air contigu. Mais le mouvement de la lumière doit naître comme de chaque point de l'objet lumineux, pour pouvoir faire apercevoir toutes les parties différentes de cet objet, comme il se verra mieux dans la suite. Et je ne crois pas que ce mouvement se puisse mieux expliquer, qu'en supposant ceux d'entre les corps lumineux qui sont liquides, comme la flamme, et apparemment le soleil, et les étoiles, composés de particules qui nagent dans une matière beaucoup plus subtile, qui les agite avec une grande rapidité, et les fait frapper contre les particules de l'éther, qui les environnent, et qui sont beaucoup moindres qu'elles. Mais que dans les lumineux solides

1. On sait aujourd'hui que ce temps est de 16 min. 36 sec., au lieu de 22 minutes. — J. G.

comme du charbon, ou du métal rougi au feu, ce mesme mouvement est causé par l'ébranlement violent des particules du métal ou du bois, dont celles qui sont à la surface frappent de mesme la matière éthérée. L'agitation au reste des particules qui engendrent la lumière doit estre bien plus prompte, et plus rapide que n'est celle des corps qui causent le son, puisque nous ne voyons pas que le frémissement d'un corps qui sonne est capable de faire naître de la lumière, de même que le mouvement de la main dans l'air n'est pas capable de produire du son.

Maintenant si l'on examine quelle peut être cette matière dans laquelle s'étend le mouvement qui vient des corps lumineux, laquelle j'appelle éthérée, on verra que ce n'est pas la mesme qui sert à la propagation du son. Car on trouve que celle-cy est proprement cet air que nous sentons, et que nous respirons, lequel estant osté d'un lieu, l'autre matière qui sert à la lumière ne laisse pas de s'y trouver. Ce qui se prouve en enfermant un corps sonnant dans un vaisseau de verre, dont on tire ensuite l'air par la machine, que M. Boyle nous a donnée [1], et avec laquelle il a fait tant de belles expériences. Mais en faisant celle dont je parle, il faut avoir soin de placer le corps sonnant sur du coton ou sur des plumes en sorte qu'il ne puisse pas communiquer ses tremblements au vaisseau de verre qui l'enferme, ni à la machine, ce qui avait jusqu'icy été négligé. Car alors, après avoir vuidé tout l'air, l'on n'entend aucunement le son du métal quoique frappé.

On voit d'icy non seulement que nostre air qui ne pénètre point le verre, est la matière par laquelle s'étend le son; mais aussi que ce n'est point le même air, mais une autre matière dans laquelle s'étend la lumière, puisque

1. R. Boyle et Papin avaient grandement perfectionné la machine pneumatique inventée par Otto de Guéricke. — J. G.

l'air étant osté de ce vaisseau, la lumière ne laisse pas de le traverser comme auparavant.

Et ce dernier point se démontre encore plus clairement par la célèbre expérience de Torricelli....

Quant aux différentes manières dont j'ay dit que se communiquent successivement les mouvements du son et de la lumière, on peut assez comprendre comment cecy se passe en ce qui est du son, quand on considère que l'air est de telle nature qu'il peut estre comprimé et réduit à un espace beaucoup moindre qu'il n'occupe d'ordinaire; et qu'à mesure qu'il est comprimé il fait effort à se remettre au large : car cela joint à sa pénétrabilité, qui luy demeure nonobstant sa compression, semble prouver qu'il est fait de petits corps qui nagent et qui sont agités fort viste dans la matière éthérée, composée de parties bien plus petites. De sorte que la cause de l'extension des ondes du son, c'est l'effort que font ces petits corps qui s'entrechoquent, à se remettre au large lorsqu'ils sont un peu plus serrés dans le circuit de ces ondes qu'ailleurs.

Mais l'extrême vitesse de la lumière, et d'autres propriétés qu'elle a, ne sçauraient admettre une telle propagation de mouvement, et je vais montrer ici de quelle manière je conçois qu'elle doit estre. Il faut expliquer pour cela la propriété que gardent les corps durs à transmettre le mouvement les uns aux autres.

Lorsqu'on prend un nombre de boules d'égale grosseur, faites de quelque matière fort dure, et qu'on les range en ligne droite, en sorte qu'elles se touchent; l'on trouve, en frappant avec une boule pareille contre la première de ces boules, que le mouvement passe comme dans un instant jusqu'à la dernière, qui se sépare de la rangée, sans qu'on s'aperçoive que les autres se soient remuées. Et même celle qui a frappé demeure immobile avec elles. Où l'on voit un passage de mouvement d'une extrême vitesse et qui est d'autant plus grande que la matière des boules est d'une plus grande dureté.

Mais il est encore constant que ce progrès de mouvement n'est pas momentané, mais successif, et qu'ainsi il y faut du temps. Car si le mouvement ou, si l'on veut, l'inclination au mouvement ne passait pas successivement par toutes ces boules, elles l'acquerraient toutes en même temps, et partant elles avanceraient toutes ensemble; ce qui n'arrive point : mais la dernière quitte toute la rangée, et acquiert la vitesse de celle qu'on a poussée....

Or pour appliquer cette sorte de mouvement à celuy qui produit la lumière, rien n'empesche que nous n'estimions les particules de l'éther estre d'une matière si approchante de la dureté parfaite et d'un ressort si prompt que nous voulons. Il n'est pas nécessaire pour cela d'examiner icy la cause de cette dureté, ni de celle du ressort, dont la considération nous mènerait trop loin de nostre sujet. Je diray pourtant en passant qu'on peut concevoir que ces particules de l'éther, nonobstant leur petitesse, sont encore composées d'autres parties et que leur ressort consiste dans le mouvement très rapide, d'une matière subtile, qui les traverse de tous costés; et contraint leur tissu à se disposer en sorte qu'il donne un passage à cette matière fluide le plus ouvert, et le plus facile qui se puisse....

Et il ne faut pas s'imaginer qu'il ait rien d'absurde en cecy ni d'impossible; estant au contraire fort croyable que c'est ce progrès infini de différentes grosseurs de corpuscules, et les différents degrés de leur vitesse, dont la nature se sert à opérer tant de merveilleux effets.

Mais quand nous ignorerions la vraie cause du ressort, nous voyons toujours qu'il y a beaucoup de corps qui ont cette propriété; et ainsi il n'y a rien d'étrange de la supposer aussi dans des petits corps invisibles comme ceux de l'éther. Que si l'on veut chercher quelque autre manière dont le mouvement de la lumière se communique successivement, on n'en trouvera point qui convienne

mieux que le ressort avec la progression égale, qui semble estre nécessaire, parce que si ce mouvement se ralentissait à mesure qu'il se partage entre plus de matière, en s'éloignant de la source de la lumière, elle ne pourrait pas conserver cette grande vitesse dans de grandes distances. Mais en supposant le ressort dans la matière éthérée, ses particules auront la propriété de se restituer également viste, soit qu'elles soient fortement ou faiblement

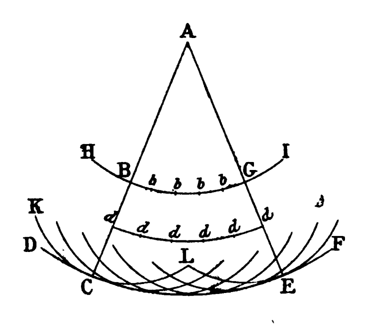


Fig. 13.

poussées; et ainsi le progrès de la lumière continuera toujours avec une vitesse égale....

Et d'icy l'on voit la raison pourquoy la lumière, à moins que ses rayons ne soyent réfléchis ou rompus, ne se répand que par des lignes droites, en sorte qu'elle n'éclaire aucun objet que quand le chemin depuis sa source jusqu'à cet objet est ouvert suivant de telles lignes. Car si, par exemple, il y avait une ouverture BG (fig. 13), bornée par des corps opaques BH, GI, l'onde de lumière qui sort du point A sera toujours terminée par les droites AC, AE :... les parties des ondes particulières, qui s'étendent hors de l'espace ACE, estant trop faibles pour y produire de la lumière [1].

1. Voir la note 2 de la page 272.

Or quelque petite que nous fassions l'ouverture BG, la raison est toujours la mesme pour y faire passer la lumière entre des lignes droites; parce que cette ouverture est toujours assez grande pour contenir un grand nombre de particules de la matière éthérée, qui sont d'une petitesse inconcevable; de sorte qu'il paraît que chaque partie d'onde s'avance nécessairement suivant la ligne droite qui vient du point luisant. Et c'est ainsi que l'on peut prendre des rayons de lumière comme si c'estaient des lignes droites....

Une autre, et des merveilleuses propriétés de la lumière est que, quand il en vient de divers côtés, ou même d'opposez, elles font leur effet l'une à travers l'autre sans aucun empeschement. D'où vient aussi que par une mesme ouverture plusieurs spectateurs peuvent voir tout à la fois des objets différens, et que deux personnes se voient en mesme instant les yeux l'un de l'autre. Or suivant ce qui a été expliqué de l'action de la lumière, et comment ses ondes ne se détruisent point, ny ne s'interrompent les unes les autres quand elles se croisent, ces effets que je viens de dire sont aisez à concevoir. Qui ne le sont nullement, à mon avis, selon l'opinion de Descartes, qui fait consister la lumière dans une pression continuelle, qui ne fait que tendre au mouvement. Car cette pression ne pouvant agir tout à la fois des deux côtés opposés, contre des corps qui n'ont aucune inclination à s'approcher, il est impossible de comprendre ce que je viens de dire de deux personnes qui se voyent les yeux mutuellement, ny comment deux flambeaux se puissent éclairer l'un l'autre....

Chap. III. — *De la réfraction.*

.... Passons maintenant à l'application des effets de la réfraction, en supposant, comme nous avons fait, le passage des ondes de la lumière à travers les corps transpa-

rents, et la diminution de vitesse que ces mêmes ondes y souffrent.

La principale propriété de la réfraction est qu'un rayon de lumière comme AB (fig. 14), estant dans l'air et tombant obliquement sur la surface polie d'un corps transparent comme FG, se rompt au point d'incidence B, en sorte qu'avec la droite DBE, qui coupe la surface perpendiculairement, il fait un angle CBE moindre que

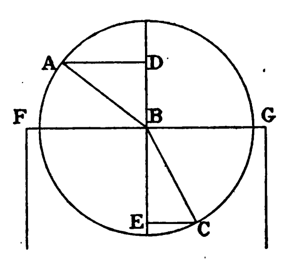


Fig. 14.

ABD, qu'il faisait avec la mesme perpendiculaire estant dans l'air. Et la mesure de ces angles se trouve en décrivant un cercle du point B, qui coupe les rayons AB, BC. Car les perpendiculaires AD, CE, menées des points d'intersection sur la droite DE, lesquels on appelle les sinus des angles ABD, CBE, ont entre elles une certaine raison, qui est toujours la mesme dans toutes les inclinaisons du rayon incident, pour ce qui est d'un certain corps transparent. Estant dans le verre fort près comme de 3 à 2, et dans l'eau fort près comme de 4 à 3 et ainsi différente dans d'autres corps diaphanes.

Une autre propriété pareille à celle-cy, est que les réfractions sont réciproques entre les rayons entrant dans un corps transparent, et ceux qui en sortent. C'est-à-dire que si le rayon AB en entrant dans le corps transparent se rompt en BC, aussi CB, estant pris pour un rayon au dedans de ce corps, se rompra, en sortant, en BA.

Pour expliquer donc les raisons de ces phénomènes suivant nos principes, soit la droite AB (fig. 15), qui représente une surface plane, terminant les corps transparents qui sont vers C et vers N. Quand je dis plane, cela ne signifie pas d'une égalité parfaite, mais telle qu'elle a été entendue en traitant de la réflexion et par la mesme raison. Que la ligne AC représente une partie d'onde de

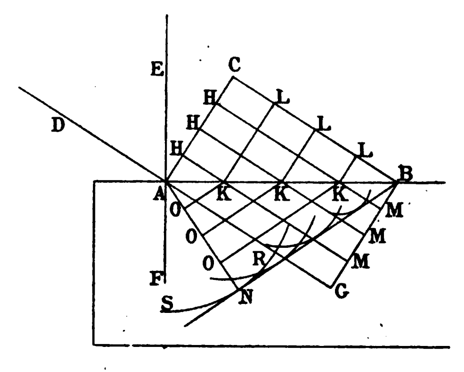


Fig. 15.

lumière, dont le centre soit supposé si loin, que cette partie puisse estre considérée comme une ligne droite.

L'endroit C donc, de l'onde AC, dans un certain espace de temps sera avancé jusqu'au plan AB suivant la droite CB, que l'on doit imaginer qu'elle vient du centre lumineux, et qui par conséquent coupera AC à angles droits. Or dans le mesme temps l'endroit A serait venu en G par la droite AG, égale et parallèle à CB; et toute la partie d'onde AC serait en GB, si la matière du corps transparent transmettait le mouvement de l'onde aussi vite que celle de l'éther. Mais supposons qu'elle transmette ce mouvement moins viste, par exemple, d'un tiers. Il se sera donc répandu du mouvement depuis le point A, dans la matière du corps transparent, par une étendue égale aux 2/3 tiers de CB, faisant son onde sphérique particulière,

suivant ce qui a esté dit cy-devant; laquelle onde est donc représentée par la circonférence SNR, dont le centre est A, et le demi-diamètre égal aux 2/3 de CB. Que si l'on considère ensuite les autres endroits H de l'onde AC, il paraît que dans le mesme temps que l'endroit C est venu en B, ils ne seront pas seulement arrivés à la surface AB, par les droites HK parallèles à CB, mais que de plus ils auront engendré, des centres K, des ondes particulières dans le diaphane, représentez ici par des circonférences dont les demi-diamètres sont égaux aux 2/3 des lignes KM, c'est-à-dire aux 2/3 des continuations de HK jusqu'à la droite BG; car ces demi-diamètres auraient esté égaux aux KM entières, si les deux diaphanes estoient de mesme pénétrabilité.

Or toutes ces circonférences ont pour tangente commune la ligne droite BN : sçavoir la mesme qui du point B est faite tangente de la circonférence SNR, que nous avons considérée la première. Car il est aisé de voir que toutes les autres circonférences vont toucher à la mesme BN, depuis B jusqu'au point de contact N, qui est le mesme où tombe AN perpendiculaire sur BN.

C'est donc BN qui est comme formée par de petits arcs de ces circonférences, qui termine le mouvement que l'onde AC a communiqué dans le corps transparent, et où ce mouvement se trouve en beaucoup plus grande quantité que partout ailleurs. Et pour cela cette ligne, suivant ce qui a esté dit plus d'une fois, est la propagation de l'onde AC dans le moment que son endroit C est arrivé en B. Car il n'y a point d'autre ligne au-dessous du plan AB qui, comme BN, soit tangente commune de toutes lesdites ondes particulières. Que si l'on veut sçavoir comment l'onde AC est venue successivement en BN, il ne faut que dans la mesme figure tirer les droites KO parallèles à BN, et toutes les KL parallèles à AC. Ainsi l'on verra que l'onde CA, de droite est devenue brisée dans toutes les LKO successivement, et qu'elle est redevenue droite en

BN. Ce qui estant évident par ce qui a déjà esté montré, il n'est pas besoin de l'éclaircir davantage.

Or dans la mesme figure, si on mène EAF, qui coupe le plan AB à angles droits au point A, et que AD soit perpendiculaire à l'onde AC, ce sera DA qui marquera le rayon de lumière incident, et AN qui estoit perpendiculaire à BN, le rayon rompu : puisque les rayons ne sont autre chose que les lignes droites suivant lesquelles les parties des ondes s'estendent.

D'où il est aisé de reconnoître cette principale propriété des réfractions, sçavoir que le sinus de l'angle DAE a toujours une même raison au sinus de l'angle NAF quelle que soit l'inclinaison du rayon DA : et que cette raison est la mesme que celle de la vitesse des ondes dans le diaphane qui est vers AE, à leur vitesse dans le diaphane vers AF. Car considérant AB comme rayon d'un cercle, le sinus de l'angle BAC est BC, et le sinus de l'angle ABN est AN. Mais l'angle ABC est égal à DAE puisque chacun d'eux, ajouté à CAE, fait un angle droit. Et l'angle BAN est égal à NAF, puisque chacun d'eux avec BAN fait un angle droit. Donc le sinus de l'angle DAE est au sinus de NAF comme BC à AN. Mais la raison de BC à AN estoit la même que celle des vitesses de la lumière dans la matière qui est vers AE et dans celle qui est vers AF; donc aussi le sinus de l'angle DAE au sinus de l'angle NAF sera comme lesdites vitesses de la lumière....

CHAP. V. — *De l'étrange réfraction du cristal d'Islande.*

L'on apporte d'Islande, qui est une île de la Mer Septentrionale, à la hauteur de 66 degrés, une espèce de cristal, ou pierre transparente, fort remarquable par sa figure, et autres qualitez, mais surtout par celle de ses estranges réfractions, dont les causes m'ont semblé d'autant plus dignes d'être curieusement recherchées, que parmi les corps diaphanes, celuy-ci seul, à l'égard des rayons de la

lumière, ne suit pas les règles ordinaires. J'ay mesme eu quelque nécessité de faire cette recherche, parce que les réfractions de ce cristal semblaient renverser notre explication précédente de la réfraction régulière; laquelle, au contraire, l'on verra qu'elles confirment beaucoup, après être réduites au mesme principe. C'est dans l'Islande qu'on trouve de gros morceaux de ce cristal, dont j'en ay vu de 4 ou 5 livres. Mais il en croît aussi en d'autres pays, car j'en ay eu de la même espèce qu'on avait trouvé en France près de la ville de Troyes en Champagne et d'autre qui venait de l'île de Corse, quoique l'un et l'autre moins clair, et seulement en petits morceaux, à peine capables de faire remarquer quelque effet de la réfraction.

La première connaissance qu'en a eue le public est due à M. Erasme Bartholin [1], qui a donné la description du cristal d'Islande avec celle de ses principaux phénomènes. Mais je ne laisserai pas de donner ici la mienne, tant pour l'instruction de ceux qui n'auront pas vu son livre, que parce que dans quelques-uns de ces phénomènes, il y a un peu de différence entre ses observations et celles que j'ai faites : m'estant appliqué avec beaucoup d'exactitude à examiner ces propriétés de la réfraction, afin d'en estre bien sûr devant que d'entreprendre d'en éclaircir les causes....

Les morceaux qu'on en trouve sont de la figure d'un parallélipipède oblique, chacune des six faces étant un parallélogramme; et il souffre d'être fendu selon toutes les trois dimensions, parallèlement à deux de ces faces opposées. Mesme tellement, si l'on veut, que toutes les six faces soient des rhombes égaux et semblables.... Les angles obtus de tous les parallélogrammes sont de 101° 52′ et par conséquent les aigus de 78° 8′ [2]....

1. *Erasme Bartholin*, médecin, né à Roskild en 1625, mort à Copenhague en 1698. — J. G.

2. Des mesures plus précises ont donné pour ces angles les valeurs suivantes : 105° 5′ et 74° 55′. — J. G.

Dans tous les autres corps transparents que nous connaissons, il n'y a qu'une seule et simple réfraction, mais dans celui-ci il y en a deux différentes. Ce qui fait que les objets que l'on voit à travers, surtout ceux qui sont appliqués tout contre, paraissent doubles; et qu'un rayon de soleil tombant sur une de ses surfaces, se partage en deux et traverse ainsi le cristal.

C'est encore une loi générale dans tous les autres corps transparents, que le rayon qui tombe perpendiculairement sur leur surface, passe tout droit sans souffrir de réfraction; et que le rayon oblique se rompt toujours. Mais dans ce cristal le rayon perpendiculaire souffre réfraction, et il y a des rayons obliques qui le passent tout droit....

.... J'ai reconnu que des deux réfractions que le rayon souffre dans ce cristal, il y en a une qui suit les règles ordinaires.... C'est pourquoi j'ai distingué cette réfraction ordinaire d'avec l'autre, et l'ayant mesurée par des observations exactes, j'ai trouvé que sa proportion, considérée dans les sinus des angles que fait le rayon incident et rompu avec la perpendiculaire, estoit assez précisément celle de 5 à 3, comme elle a aussi été trouvée par M. Bartholin; et par conséquent bien plus grande que celle du cristal de roche, ou du verre, qui est à peu près de 3 à 2.... (HUYGHENS, *Traité de la lumière.*)

*
* *

Laplace, dans son *Exposition du système du monde*, a décrit de la manière suivante le phénomène de la double réfraction.

Les lois précédentes du mouvement de la lumière se modifient dans les cristaux diaphanes, et la lumière y présente un singulier phénomène qui fut d'abord observé dans le cristal d'Islande. Un rayon lumineux qui tombe perpendiculairement sur une face d'un rhomboïde naturel de ce cristal, se divise en deux faisceaux : l'un traverse le

cristal sans changer sa direction; l'autre s'en écarte dans un plan parallèle au plan mené perpendiculairement à la face, par la ligne qui joint les deux angles solides obtus de ce rhomboïde, et qui, par conséquent, est également inclinée aux côtés de ces angles. Cette ligne est ce que l'on nomme *axe* du cristal, et l'on appelle *section principale* d'une face naturelle ou artificielle, un plan mené par cet axe, perpendiculairement à la face, et tout plan qui lui est parallèle.

La division du rayon lumineux a lieu relativement à une incidence quelconque; une partie suit la loi de la réfraction ordinaire; l'autre partie suit une loi reconnue par Huyghens, et qui, considérée comme un résultat de l'expérience, peut être mise au rang des plus belles découvertes de ce rare génie. Il y fut conduit par la manière ingénieuse dont il envisageait la propagation de la lumière qu'il concevait formée des ondulations d'un fluide éthéré. Il supposait dans les milieux diaphanes non cristallisés, la vitesse de ces ondulations, plus petite que dans le vide, et la même dans tous les sens. Mais dans le cristal d'Islande, il imaginait deux espèces d'ondulations. La vitesse de la première était représentée comme dans les milieux non cristallisés, par les rayons d'une sphère dont le centre serait au point d'incidence du rayon lumineux, sur la face du cristal; la vitesse de la seconde était variable et représentée par les rayons d'un ellipsoïde de révolution, aplati à ses pôles, ayant le même centre que la sphère précédente, et dont l'axe de révolution serait parallèle à l'axe du cristal. Huyghens n'assignait point la cause de cette variété d'ondulations; et les phénomènes singuliers qu'offre la lumière en passant d'un cristal dans un autre, et dont nous parlerons ci-après, sont inexplicables dans son hypothèse [1]. Cela, joint aux difficultés que présente la théorie

1. Fresnel a rattaché de la manière la plus complète la loi de Huyghens à la théorie des ondulations. — J. G.

des ondes lumineuses, est la cause pour laquelle Newton et la plupart des géomètres qui l'ont suivi, n'ont pas justement apprécié la loi qu'Huyghens y avait attachée. Ainsi cette loi a éprouvé le même sort que les belles lois de Kepler, qui furent longtemps méconnues, pour avoir été associées à des idées systématiques dont malheureusement ce grand homme a rempli tous ses ouvrages. Cependant Huyghens avait vérifié sa loi par un grand nombre d'expériences. L'excellent physicien Wollaston ayant fait par un moyen fort ingénieux, diverses expériences sur la double réfraction du cristal d'Islande, il les a trouvées conformes à cette loi remarquable. Enfin, Malus vient de faire, à cet égard, une suite nombreuse d'expériences très précises, sur les faces naturelles et artificielles de ce cristal; et il a constamment observé entre elles et la loi de Huyghens, le plus parfait accord. On ne doit donc pas balancer à la mettre au nombre des plus certains, comme des plus beaux résultats de la physique. Des expériences directes ont fait voir à Malus, qu'elle s'étend au cristal de roche.

Voici maintenant un phénomène que la lumière présente après avoir subi une double réfraction. Si l'on place à une distance quelconque au-dessous d'un cristal, un second cristal de la même matière ou d'une matière différente, et disposé de manière que les sections principales des faces opposées des deux cristaux soient parallèles; le rayon réfracté, soit ordinairement, soit extraordinairement par le premier, le sera de la même manière par le second; mais si l'on fait tourner l'un des cristaux, en sorte que les sections principales soient perpendiculaires entre elles, alors le rayon réfracté ordinairement par le premier cristal, le sera extraordinairement par le second, et réciproquement. Dans les positions intermédiaires, chaque rayon émergent du premier cristal se divisera à son entrée dans le second cristal, en deux faisceaux dont les intensités respectives paraissent être comme les carrés du sinus et du cosinus de l'angle que les sections princi-

pales font entre elles. Lorsqu'on eut fait remarquer à Huyghens, ce phénomène dans le cristal d'Islande, il convint avec la candeur qui caractérise un ami sincère de la vérité, qu'il était inexplicable dans ses hypothèses; ce qui montre combien il est essentiel de les séparer de la loi de réfraction qu'il en avait déduite. Ce phénomène indique avec évidence que la lumière, en traversant les cristaux à double réfraction, reçoit deux modifications diverses en vertu desquelles une partie est rompue *ordinairement*, et l'autre partie est rompue *extraordinairement*. Mais ces modifications ne sont point absolues : elles sont relatives à la position du rayon par rapport à l'axe du cristal; puisqu'un rayon rompu ordinairement est rompu extraordinairement par un autre cristal, si les sections principales des faces opposées des deux cristaux sont perpendiculaires entre elles.

Il serait bien intéressant de rapporter la loi d'Huyghens à des forces attractives et répulsives de molécule à molécule, ainsi que Newton l'a fait à l'égard de la réfraction ordinaire; car c'est à ce terme que le géomètre s'arrête, sans chercher à remonter aux causes de ces forces. Mais pour résoudre ce problème, il faudrait connaître la forme des molécules des milieux cristallisés, celle des molécules de la lumière, et les modifications qu'elle reçoit en pénétrant dans ces milieux. L'ignorance où nous sommes de toutes ces données ne permet que d'appliquer à la réfraction et à la réflexion extraordinaires les résultats généraux de l'action de ces forces. (LAPLACE, *Exposition du système du monde*, t. II, p. 277.)

*
* *

Nous revenons maintenant à l'historique de Verdet :

Toutes les vibrations sonores qui résultent du libre jeu des forces élastiques d'un corps primitivement ébranlé

sont décomposables d'une infinité de manières en deux demi-vibrations exactement contraires l'une à l'autre, de sorte qu'à deux époques séparées par une demi-vibration, et plus généralement par un nombre impair de demi-vibrations, les vitesses des molécules sont égales et opposées. Si deux vibrations de ce genre, parties d'une même origine, viennent, après avoir parcouru des chemins inégaux, se réunir en un même point sur des directions sensiblement parallèles, elles devront se renforcer ou s'affaiblir réciproquement, suivant que la différence de leurs durées de propagation à partir de l'origine sera d'un nombre pair ou impair de demi-vibrations; et si la différence des chemins parcourus n'est qu'une petite fraction de ces chemins eux-mêmes, l'intensité des deux vibrations étant à peu près égale, il y aura repos presque absolu au point où elles seront en discordance complète. Si les vibrations lumineuses sont constituées d'une manière analogue, il sera possible, en ajoutant de la lumière à de la lumière dans des conditions convenables, de produire de l'obscurité.

Telle est la substance des raisonnements qui ont conduit Thomas Young à l'expérience mémorable par laquelle le système de l'émission a été définitivement réfuté, et l'existence des ondes lumineuses rendue, pour ainsi dire, aussi palpable que celle des ondes sonores [1]. Sur deux trous

1. C'est le phénomène des battements qui paraît avoir suggéré à Young la première idée de l'interférence des vibrations. Les ondulations d'où résultent les battements ne sont ni de même origine ni de même période; mais si les périodes sont peu différentes, ces vibrations se trouvent alternativement dans les conditions favorables à leur renforcement et à leur affaiblissement réciproques, et ces effets contraires sont sensibles à l'oreille.

Un principe de Newton a été souvent mentionné par Young comme renfermant une première application du principe des interférences : c'est l'explication de certaines marées anormales, observées par Halley dans la mer de Chine, qui se trouve au troisième livre des *Principes* (prop. xxiv). Suivant Newton, les ondes de la marée océanique pénétreraient dans cette mer par les deux

étroits et voisins, percés dans un écran opaque, Young a fait arriver le faisceau des rayons solaires transmis par un autre trou étroit pratiqué dans le volet de la chambre obscure; les deux cônes lumineux qui se sont propagés au delà de l'écran opaque ont été dilatés par la diffraction, de manière à empiéter l'un sur l'autre, et dans la partie commune il s'est produit, au lieu d'un accroissement général de l'intensité lumineuse, une série de bandes alternativement obscures et brillantes, occupant exactement les positions où, d'après la théorie, les mouvements vibratoires devaient réciproquement se renforcer et s'affaiblir. Les bandes ont disparu lorsqu'on a fermé l'un des deux trous. Elles ont disparu également lorsqu'au faisceau unique originaire d'un trou étroit on a substitué la lumière solaire directe ou celle d'une flamme artificielle : il est facile de comprendre cet effet, vu que dans ce cas les conditions de maximum et de minimum d'intensité lumineuse ne sont pas satisfaites aux mêmes points par les divers groupes de rayons qu'on peut concevoir émanés des divers points de la source [1].

détroits situés au nord et au sud de l'archipel des Philippines, et, dans les ports où ces deux ondes arriveraient avec un retard de six heures l'une sur l'autre, elles se détruiraient réciproquement, au moins lorsque, la lune étant dans le plan de l'équateur, il y a égalité entre les deux marées consécutives d'un même jour. — V.

1. Grimaldi, à qui l'on a souvent attribué la première observation des interférences, recevait la lumière solaire directe sur deux trous très étroits, percés dans le volet même de sa chambre obscure. Les deux cônes transmis étaient légèrement colorés sur leurs bords par la diffraction, et, lorsque ces bords venaient à empiéter l'un sur l'autre, il en résultait des effets qui ont paru indiquer à Grimaldi que, dans certains cas, la lumière en s'ajoutant à de la lumière produisait de l'obscurité. *Lumen aliquando per sui communicationem reddit obscuriorem superficiem corporis alicunde ac prius illustratam.* (*Physico-mathesis de lumine*, prop. XXII.) Mais il n'a rien décrit et n'a rien pu observer de semblable aux bandes *alternées* que Young a obtenues un siècle et demi plus tard et qu'obtiennent sans difficulté tous ceux qui répètent son expérience. (Voir la traduction de la XXIII[e] proposition de Grimaldi dans les *Annales de chimie et de physique*, 2[e] série, t. X, p. 306.) — V.

Rien de plus varié que la série des conséquences que Young a su déduire de sa découverte. Elle lui a d'abord expliqué, jusque dans leurs plus minutieux détails, ces couleurs des lames minces dont Newton avait déterminé les lois avec tant de soin et d'exactitude : les rayons réfléchis aux deux surfaces de la lame parviennent évidemment à l'œil en des temps inégaux, puisque les uns traversent deux fois la lame et que les autres n'y pénètrent pas. Suivant les valeurs diverses de cette inégalité des durées de propagation, c'est-à-dire suivant l'épaisseur et la nature de la lame, suivant l'inclinaison de la lumière incidente, ces deux groupes de rayons doivent alternativement se renforcer et s'affaiblir; et, comme les conditions de ces effets opposés, liées avec la durée des vibrations, ne sont pas les mêmes pour tous les éléments de la lumière blanche, l'inégale modification d'intensité de ces divers éléments en un point donné de la lame a pour conséquence l'apparition des couleurs; et si, pour rendre un compte tout à fait exact des particularités du phénomène, il faut admettre une nouvelle propriété de la réflexion, l'expérience directe confirme l'existence de cette propriété. Les couleurs semblables à celles des lames minces, que Newton a obtenues avec des plaques épaisses, et qui lui ont semblé un corollaire de la théorie des accès, s'expliquent par les mêmes principes. Tandis que Newton était obligé de supposer, *ce qui est contraire à l'expérience*, que la deuxième surface de ces plaques possédait, à un degré très sensible, la faculté de diffuser la lumière en tous sens, la théorie nouvelle attribue cette propriété *à la première surface* rencontrée par les rayons lumineux, et l'expérience confirme encore cette conclusion. Les phénomènes de diffraction, ces franges intérieures et extérieures à l'ombre des corps opaques, qui se montrent toutes les fois qu'on réduit suffisamment le diamètre de la source lumineuse, et qui, dans les conditions les plus habituelles des expériences, se cachent dans la confusion de la pénombre, résultent

aussi de mouvements vibratoires qui, venant de divers côtés, et en suivant des chemins inégaux, concourir en un même point, tantôt se renforcent, tantôt s'affaiblissent. Un grand nombre de phénomènes naturels doivent être rapportés aux mêmes principes, entre autres les arcs colorés qui s'observent souvent au delà du violet de l'arc-en-ciel ordinaire, et dont les théories de Descartes et de Newton sont incapables de rendre compte; les couronnes qui, dans une atmosphère chargée de gouttelettes d'eau en suspension, apparaissent autour du soleil et de la lune; l'irisation superficielle des minéraux, le reflet chatoyant des plumes des oiseaux et, en particulier, de toute surface présentant de fines inégalités régulièrement espacées. Partout où l'on peut distinguer deux groupes de rayons dont les durées de propagation sont inégales, soit parce qu'ils ont pénétré à des hauteurs inégales dans la goutte de pluie productrice de l'arc-en-ciel, soit parce que les uns ont cheminé dans l'air, les autres dans des gouttelettes aqueuses, soit parce que les uns se sont réfléchis sur le sommet, les autres sur le point le plus bas des stries d'une surface, partout l'observateur reconnaît les alternatives de lumière et d'obscurité et les colorations variables caractéristiques de l'interférence. Enfin ces divers phénomènes déterminent les éléments numériques fondamentaux des vibrations lumineuses, et substituent des données précises aux vaines conjectures d'Euler. Ils s'accordent tous à démontrer que les ondulations les plus réfrangibles sont aussi les plus rapides; d'ailleurs, même dans les ondulations les plus lentes, cette rapidité est de nature à confondre l'imagination : en une seconde il ne s'accomplit pas moins de quatre à cinq cents trillions de vibrations sur un rayon de lumière rouge, et de sept à huit cents trillions sur un rayon de lumière violette.

L'admiration qu'inspireront toujours les écrits où sont exposées ces immortelles découvertes n'en doit pas

dissimuler les imperfections et les lacunes [1]. Comme il arrive souvent aux génies qui se sont formés eux-mêmes sans recevoir et sans se donner la forte discipline d'une étude régulière de la tradition scientifique [2], Young n'a

1. Ce sont les trois mémoires lus à la Société Royale de Londres le 12 novembre 1801, le 1er juillet 1802 et le 24 novembre 1803, qui ont respectivement pour titres : *On the theory of Light and Colours*; — *An account of some cases of the production of Colours not hitherto described*; — *Experiments and Calculations relative to physical Optics*. Le mémoire plus ancien, qui a pour titre : *Experiments and Inquiries respecting Sound and Light*, ne contient guère qu'un examen comparatif des mérites du système de l'émission et du système des ondulations, où il n'y a rien de très nouveau. Seulement un passage sur l'analogie qui existe entre les lois des anneaux colorés et celles des tuyaux fermés, rapproché de l'explication qui est donnée de ces dernières lois, montre que Young était déjà en possession du principe des interférences et qu'il en connaissait toute la portée. Les *Lectures on natural Philosophy*, publiées en 1807, résument d'une manière systématique les idées de Young sur la nature de la lumière, sans beaucoup ajouter à ce qu'on trouve dans les mémoires déjà cités. Depuis cette époque jusqu'au moment où les travaux de Fresnel sont venus réveiller l'activité de Young, il a peu écrit et n'a rien publié sous son nom sur des matières scientifiques; il s'est contenté de défendre ses anciennes idées et d'y ajouter un petit nombre de développements nouveaux (dont il sera question plus loin), dans quelques articles anonymes de la *Quarterly Review*, où il faisait la critique des travaux inspirés aux savants contemporains par le système de l'émission. — V.

2. Dès son enfance, Young avait montré les facultés les plus rares et surtout une souplesse d'esprit qui lui permettait de les appliquer, au même moment et avec un égal succès, aux études les plus diverses. A treize ans, au sortir d'une école privée où on lui avait enseigné les langues anciennes et les premiers éléments des mathématiques, seul et sans maître, dans la maison paternelle, il tentait d'apprendre à la fois l'hébreu, la botanique et l'optique; à seize ans il étudiait en même temps Hésiode et Aristophane, Simpson et Newton, Linné et Boërhaave, Lavoisier et Black, et lorsqu'à l'entrée de la jeunesse il sortait du cercle étroit où l'avaient d'abord confiné les opinions religieuses de sa famille, il attirait tout de suite sur lui l'attention des esprits les plus éminents et des plus grands personnages de l'Angleterre. Porson l'admettait à discuter avec lui les points controversés d'archéologie et de philologie grecques; le duc de Richmond lui proposait d'entrer dans la carrière politique en devenant son secrétaire; Burke et Windham lui conseillaient le

jamais bien compris la différence qu'il y a entre un *aperçu* et une véritable démonstration, ainsi que Laplace le lui reprochait dans une lettre que l'éditeur des œuvres de Young a publiée (t. I, p. 374). Il ne faut pas entendre par là seulement que Young a ignoré ou négligé l'art de présenter ses découvertes sous cette forme classique qui les aurait fait accueillir plus promptement par les interprètes autorisés de la science contemporaine; il faut reconnaître que, dans bien des cas, il a passé à côté de difficultés déjà signalées, sans paraître les apercevoir, et que, d'autres fois, il s'est contenté d'expliquer en gros les phénomènes sans instituer entre l'expérience et la théorie cette comparaison minutieuse qui garantit seule la possession de la vérité [1]. (Verdet, *Œuvres*, t. I, p. 321.)

En résumé, vers 1815, les conséquences que Young avait tirées de son principe fondamental des interférences

barreau et lui offraient leur direction pour l'étude des lois. Mais personne ne paraissait soupçonner que les sciences physico-mathématiques, la philosophie naturelle, comme on disait alors, fussent la vocation propre de ce brillant et universel génie, et lui-même l'ignorait probablement. Des considérations de famille, le désir de s'assurer la bienveillance d'un oncle riche lui firent embrasser la profession médicale; la nécessité d'un apprentissage régulier le conduisit successivement à Londres, à Edimbourg, à Gœttingue et à Cambridge, et c'est durant son séjour à Gœttingue que sa pensée commença à se fixer sur les objets qui ne devaient plus cesser de l'occuper. Pour le sujet de la thèse qu'il était tenu de composer, il choisit la théorie de la voix humaine; l'étude de la production et de la propagation du son le conduisit bientôt à la théorie générale des ondes et à l'optique.

Bien des gens penseront que cette éducation tout individuelle et spontanée était la meilleure que pût recevoir une pareille nature. Peut-être Young en jugeait-il autrement, lorsqu'il prononçait cette parole mélancolique, conservée par la tradition de ses amis :

« Quand j'étais un enfant, je me croyais un homme; maintenant que je suis homme, je vois que je ne suis qu'un enfant. » — V.

1. Il a dit lui-même qu'il mettait sa gloire et son plaisir à se passer autant que possible de l'expérience.

« For my part, it is my pride and pleasure, as far as I am able, to supersede the necessity of experiments. » (Lettre à M. Gurney, citée par Peacock, *Life of Young*, p. 477.) — V.

n'avaient été vérifiées qu'approximativement; de graves difficultés subsistaient encore dans la plupart des applications qu'on avait faites de la théorie des ondulations à l'explication des principaux phénomènes, et justifiaient l'opposition persistante des illustres géomètres dont l'opinion gouvernait alors le monde scientifique, tels que Laplace et Poisson. Les phénomènes de polarisation dont les découvertes de Malus venaient de montrer toute la généralité, l'action des lames minces cristallisées sur la lumière polarisée, action découverte en 1811 par Arago, étudiée dans toutes ses modifications par Biot et Brewster, et qui constitue ce que nous appelons aujourd'hui la polarisation chromatique et la polarisation rotatoire, toutes ces apparences si variées et si complexes restaient inexplicables dans le système des ondes, et l'étaient en effet, puisqu'à cette époque tout le monde regardait comme évident que les ondes lumineuses ne pouvaient différer des ondes sonores que par la période des vibrations et la vitesse de propagation. Young lui-même, après s'être consumé en vains efforts pour rattacher aux interférences les propriétés de la lumière polarisée, semblait prêt à déserter la cause qu'il avait si vaillamment défendue jusqu'alors. Le triomphe de la doctrine de l'émission paraissait assuré, et, malgré la complexité toujours croissante des hypothèses que nécessitait la découverte de chaque phénomène nouveau, l'existence des molécules lumineuses et les mouvements de leurs axes de polarisation étaient regardés presque comme des faits d'expériences. Personne ne soupçonnait qu'une combinaison heureuse du principe des interférences avec celui de Huyghens et qu'une conception hardie, celle des vibrations transversales, donnerait la solution de la plupart de ces difficultés et permettrait d'asseoir la théorie ondulatoire de la lumière sur des bases désormais inébranlables. (Verdet, *Œuvres*, t. V, p. 63.)

Cette découverte était réservée à un jeune ingénieur

des ponts et chaussées, qui, peu d'années après sa sortie de l'École polytechnique, dans les circonstances les moins favorables à l'étude, fut amené, par ses réflexions sur les propriétés de la lumière, à sentir l'insuffisance du système newtonien. AUGUSTIN-JEAN FRESNEL (né à Broglie, département de l'Eure, le 10 mai 1788), malgré une santé délicate qui l'avait d'abord retardé dans ses études, était entré à l'École polytechnique à l'âge de seize ans. Admis, à sa sortie de l'École, dans le corps des ponts et chaussées, il avait passé près de trois années à l'École d'application, et, devenu ingénieur, avait d'abord été attaché aux travaux des routes que le gouvernement impérial faisait construire autour de Napoléon-Vendée, puis, vers la fin de l'année 1812, chargé de prolonger au delà de Nyons [1] la route qui, en rejoignant par la vallée d'Eygues le passage du mont Genèvre, devait établir la communication la plus directe entre l'Espagne et l'Italie. Dans l'isolement à peu près complet où il dut ainsi passer plusieurs années, il chercha à se distraire, par des études personnelles, des soucis et des dégoûts de la vie pratique, auxquels il resta toujours très sensible [2]. Ce n'est pas du côté de l'optique que se tournèrent d'abord ses pensées. Sous l'influence des souvenirs d'une éducation de famille où la religion avait tenu la première place, il commença à méditer sur les questions philosophiques et s'efforça de trouver une démonstration scientifique et rigoureuse de la vérité de quelques-unes des croyances qui avaient été jadis pour lui l'objet de la

1. Chef-lieu d'arrondissement du département de la Drôme.

2. « Ce genre de vie, quoique un peu pénible, écrivait-il quelques années plus tard à Arago, en lui racontant ses travaux d'ingénieur, me conviendrait assez si je ne fatiguais que mon corps, et si je n'avais l'esprit tourmenté par les inquiétudes de la surveillance et par la nécessité de gronder et de faire le méchant. » (Lettre à Arago du 14 décembre 1816, nº LVII.) — « Je ne trouve rien de si pénible que d'avoir à mener des hommes, et j'avoue que je n'y entends rien du tout. » (Lettre du 29 décembre 1816 à M. Léonor Mérimée, son oncle, nº LIX.) — V.

foi la plus ardente; mais il ne communiqua jamais ses pensées qu'aux membres de sa famille et à ses plus intimes amis. Quelques études d'hydraulique et de chimie industrielle l'occupèrent dans le même temps et le firent entrer en relations avec plusieurs membres de l'Académie des sciences, notamment avec Darcet, Thenard et Gay-Lussac. Enfin, probablement dans les premiers mois de 1814, son attention fut attirée de nouveau sur les difficultés que lui avait présentées, à l'École polytechnique, la doctrine acceptée de la matérialité du calorique et de la lumière, et la recherche d'une théorie plus satisfaisante devint bientôt le but de ses efforts [1].

Il n'était point préparé à cette recherche par les études de l'École polytechnique. L'enseignement de la physique, confié depuis l'origine à l'ancien membre de la Commune de Paris, Hassenfratz, était bien loin d'avoir dans cette grande École l'importance que Petit lui donna quelques années après [2]. Fresnel n'avait pu y trouver aucune notion tant soit peu exacte des travaux de ses devanciers sur la théorie des ondes, et dans l'isolement où il avait toujours vécu, il n'avait pu suppléer à l'imperfection de ses connaissances par la lecture de bons traités généraux de physique,

1. La première indication de la direction nouvelle des pensées de Fresnel se trouve dans la lettre à Léonor Fresnel du 15 mai 1814. « Je voudrais bien », lui disait-il après avoir demandé l'envoi d'un exemplaire de la *Physique* de Haüy, « avoir aussi des mémoires qui me missent au fait des découvertes des physiciens français sur la polarisation de la lumière. J'ai vu dans le *Moniteur*, il y a quelques mois, que Biot avait lu à l'Institut un mémoire fort intéressant sur la *polarisation de la lumière*. J'ai beau me casser la tête, je ne devine pas ce que c'est. » (Voir n° LIX.)

Le mémoire de Biot est probablement le *Mémoire sur une nouvelle application de la théorie des oscillations de la lumière*, qui a été lu à la première classe de l'Institut le 27 décembre 1813. Cette date fixerait à peu près l'époque des premières réflexions de Fresnel sur la lumière. — V.

2. Voir, sur Hassenfratz et son enseignement, l'*Histoire de ma jeunesse*, d'Arago, t. I, p. 12.

qui faisaient défaut à cette époque [1]. Cette situation, qui l'exposait à se consumer en efforts stériles sur des questions déjà résolues ou trop éloignées encore de leur solution [2], aurait pu se prolonger longtemps si les événements politiques de 1815, en arrêtant pendant quelques mois la carrière d'ingénieur de Fresnel, ne lui avaient donné des loisirs forcés, dont l'emploi fut décisif pour son avenir scientifique. Suspendu de ses fonctions d'ingénieur et mis en surveillance à Nyons, au début des Cent-Jours, pour s'être joint comme volontaire à la petite armée qui, sous les ordres du duc d'Angoulême, avait tenté un moment de résister dans le Midi à Napoléon revenu de l'île d'Elbe, il ne fut réintégré dans le cadre des ponts et chaussées qu'au mois de juillet par la seconde Restauration, et rappelé au service actif qu'à la fin de 1815. L'intervention bienveillante du préfet de police des Cent-Jours, M. le comte Réal, en obtenant pour lui l'autorisation de se rendre de Nyons au village de Mathieu, près de Caen, où s'était retirée sa mère, le ramena à Paris pour quelques jours et lui permit de solliciter les conseils de quelques-uns des maîtres de la science et particulièrement d'Arago. Ce qu'on connaît de ces conseils [3] n'est pas de nature à

1. En dehors des anciens ouvrages des auteurs du XVIIIe siècle, on n'avait guère à cette époque que le *Traité de physique* de Haüy et celui de Libes, tous deux bien incomplets sur l'optique. — V.

2. On ne peut guère juger d'une autre manière l'explication prétendue nouvelle de l'aberration, et l'essai d'une théorie de la dilatation des corps, dont il est question dans les lettres à Léonor Fresnel en date de 1814. (Voir le n° LIX.) L'explication de l'aberration est l'objet principal d'un écrit étendu, que Fresnel appelait lui-même ses *Rêveries*, et qu'il a plus tard condamné à un oubli d'où il parut inutile de le tirer. La correspondance qu'on vient de citer en donne suffisamment l'idée. — V.

3. Voir le billet d'Arago mentionné dans la note de M. de Senarmont sur la lettre de Fresnel à Arago en date du 23 septembre 1815. (N° I de cette édition.) Arago se borne à indiquer à Fresnel des écrits sur la diffraction qu'il lui était impossible de consulter hors de Paris, et dont la plupart, rédigés en langue anglaise,

faire penser qu'ils aient été d'une grande utilité directe pour le jeune physicien; mais l'accueil bienveillant d'Arago lui fut sans doute un encouragement puissant à poursuivre ses recherches.

C'est à l'étude de la diffraction qu'il consacra son séjour au village de Mathieu. Comme Young, il avait promptement reconnu que le phénomène des ombres, qui passait pour la difficulté la plus grave du système des ondulations, offrait dans le phénomène accessoire de la diffraction des particularités inexplicables pour le système de l'émission, et il avait compris l'importance d'une connaissance exacte de ces particularités. Il n'avait dans son isolement ni micromètre pour mesurer la largeur des franges qu'il s'agissait d'observer, ni héliostat pour donner aux rayons solaires une direction constante; il se fit lui-même un micromètre avec des fils et des morceaux de carton; il atténua par l'emploi d'une lentille à court foyer les inconvénients du mouvement apparent du soleil; le serrurier du village lui construisit quelques supports, et avec ces appareils grossiers il sut, à force de soins et de patience, obtenir des résultats suffisamment précis pour établir quelques-unes des lois les plus remarquables des phénomènes. Deux mémoires étendus, présentés à l'Académie des sciences à quelques semaines d'intervalle [1], furent le fruit de ces premières recherches.

Grâce à l'appui d'Arago qui avait été chargé par l'Académie d'examiner ces mémoires, Fresnel put venir passer quelque temps à Paris, afin d'y répéter ses expériences dans de meilleures conditions. Peu après il fut appelé en résidence fixe à Paris et mis ainsi à même de continuer ces remarquables études.

C'est alors, en 1818, que, sur les instances pressantes d'Arago

n'auraient pu lui être utiles qu'avec le concours d'un interprète suffisamment versé dans la science pour en comprendre le sens véritable. — V.

1. Ce sont les numéros II et IV de la présente édition. — V.

et d'Ampère, il se décida à prendre part à un concours ouvert par l'Académie des sciences pour l'étude des phénomènes de diffraction.

Son mémoire signalé « par un accord constant du calcul et de l'expérience, jusque dans les détails les plus minutieux », fut, d'un jugement unanime, couronné par l'Académie des sciences.

La postérité a ratifié le jugement de l'Académie, et aujourd'hui, près d'un demi-siècle après le concours de 1818, le mémoire de Fresnel est considéré par tous comme une de ces œuvres impérissables dont l'étude est encore fructueuse longtemps après que la science les a dépassées. Il n'a pas même été dépassé de bien loin. La question que Fresnel avait expressément laissée de côté, celle du mécanisme par lequel naissent les ondes élémentaires issues des divers points d'une onde primitive, et des lois que suivent à la surface de ces ondes la direction et l'intensité des vibrations, n'est pas résolue d'une manière satisfaisante, malgré les efforts de quelques-uns des physiciens les plus distingués de notre temps [1]. Ce qu'on a ajouté de tout à fait solide et d'universellement accepté à l'œuvre de Fresnel se réduit à un développement de ses idées et même à un perfectionnement de ses méthodes de calcul. D'habiles géomètres ont su ramener à une analyse simple et élégante des problèmes beaucoup plus complexes que ceux que Fresnel avait abordés. Dans tous les cas, l'accord de l'expérience et de la théorie s'est maintenu, et l'on a pu dire sans exagération que « la théorie des ondulations prédit les phénomènes de diffraction aussi exactement que la théorie de la gravitation prédit les mouvements des corps célestes [2] ». (VERDET, *Œuvres*, t. I, p. 328.)

1. Voir, dans les *Annales de chimie et de physique*, 3e série, *passim*, les travaux de MM. Stokes, Holtzmann, Eisenlohr, Lorenz, sur les changements de polarisation produits par la diffraction. — V.

2. Schwerd, *Die Beugungserscheinungen*, p. 10 (vers la fin de la préface). — V.

Fresnel compléta ses vues sur la théorie de la lumière par de nouveaux mémoires sur la constitution et les propriétés de la lumière polarisée, et sur la double réfraction.

Nous empruntons ici à Arago l'historique de la découverte des lois de la réfraction simple et de la double réfraction.

Réfraction.

Un bâton dont une partie plonge dans l'eau paraît brisé; les rayons qui nous font voir la portion immergée doivent donc avoir changé de route, ou s'être brisés eux-mêmes, en passant de l'eau dans l'air. Naguère on réduisait à cette remarque les connaissances des anciens sur le phénomène de la réfraction. Mais en exhumant de la poussière des bibliothèques où tant de trésors sont encore enfouis, un manuscrit de l'Optique de Ptolémée, on a trouvé que l'école d'Alexandrie ne s'était pas bornée à constater le fait de la réfraction, car cet ouvrage renferme, pour toutes les incidences, des déterminations numériques passablement exactes de la déviation des rayons, soit quand ils passent de l'air dans l'eau ou dans le verre, soit lorsqu'ils n'entrent dans le verre qu'en sortant de l'eau

Quant à la loi mathématique de ces déviations, que l'Arabe Alhasen, que le Polonais Vitellio, que Képler, et d'autres physiciens avaient inutilement cherchée, c'est à Descartes qu'on la doit. Je dis Descartes, et Descartes seulement, car si les réclamations tardives d'Huyghens en faveur de son compatriote Snellius étaient accueillies, il faudrait renoncer à jamais écrire l'histoire des sciences [1].

Une loi mathématique a plus d'importance qu'une

1. L'affirmation d'Arago est trop absolue; c'est bien à Snellius qu'est due, sous une forme un peu différente, il est vrai, de celle de Descartes, le premier énoncé de la loi de la réfraction simple. — J. G.

découverte ordinaire, car elle est elle-même une source de découvertes. De simples transformations analytiques signalent alors aux observateurs une foule de résultats plus ou moins cachés, dont ils se seraient difficilement avisés; mais ces résultats ne peuvent être accueillis sans réserve, tant que la vérité de la loi primordiale repose uniquement sur des mesures. Il importe pour la science, qu'en remontant aux principes de la matière, cette loi reçoive le caractère de rigueur que les expériences les plus précises ne sauraient lui donner.

Descartes essaya donc d'établir sa loi de la réfraction par des considérations purement mathématiques; peut-être même est-ce ainsi qu'il la trouva? Fermat combattit la démonstration de son rival, la remplaça par une méthode plus rigoureuse, mais qui avait le grave inconvénient de s'appuyer sur un principe métaphysique dont rien ne montrait la nécessité. Huyghens arriva au résultat, en partant des idées qu'il avait adoptées sur la nature de la lumière; Newton enfin, car cette loi a occupé les plus grands géomètres du XVIIe siècle, la déduisit du principe de l'attraction.

La question était parvenue à ce terme, lorsqu'un voyageur revenant de l'Islande apporta à Copenhague de beaux cristaux qu'il avait recueillis dans la baie de Roërford. Leur grande épaisseur, leur remarquable diaphanéité, les rendait très propres à des expériences de réfraction. Bartholin, à qui on les avait remis, s'empressa de les soumettre à divers essais; mais quel ne fut pas son étonnement, lorsqu'il aperçut que la lumière s'y partageait en deux faisceaux distincts, d'intensités précisément égales, lorsqu'il eut reconnu, en un mot, qu'à travers ces cristaux d'Islande, qu'on a trouvés depuis dans une multitude de localités, car ils ne sont que du carbonate de chaux, tous les objets se voient doubles. La théorie de la réfraction, tant de fois remaniée, avait donc besoin d'un nouvel examen; tout au moins elle était incomplète,

puisqu'elle ne parlait que d'un rayon et qu'on en voyait deux. D'ailleurs, le sens et la valeur de l'écartement de ces deux rayons changeaient en apparence de la manière la plus capricieuse, quand on passait d'une face du cristal à l'autre, ou lorsque sur une face donnée la direction du rayon incident variait. Huyghens surmonta toutes ces difficultés; une loi générale se trouva comprendre dans son énoncé les moindres détails du phénomène; mais cette loi, malgré sa simplicité, malgré son élégance, fut méconnue. Les hypothèses avaient été pendant tant de siècles des guides inutiles ou infidèles; on les avait si longtemps considérées comme toute la physique, qu'à l'époque dont je parle, les expérimentateurs en étaient venus sur ce point à une sorte de réaction; or dans les réactions, même en matière de science, il est rare qu'on garde un juste milieu. Huyghens donne sa loi comme le fruit d'une hypothèse, on la rejette sans examen; les mesures dont il l'étaie ne rachètent pas tout ce qu'on trouve de vicieux dans son origine. Newton lui-même se range parmi les opposants et, dès ce moment, les progrès de l'optique sont arrêtés pour plus d'un siècle. Depuis, il n'a fallu rien moins que les nombreuses expériences de deux membres les plus célèbres de cette Académie, MM. Wollaston et Malus, pour replacer la loi d'Huyghens au rang qui lui appartient.

Pendant les longs débats des physiciens sur la loi mathématique d'après laquelle la double réfraction s'opère dans le cristal d'Islande, l'existence du second faisceau était généralement considérée comme une anomalie qui n'atteignait que la moitié de la lumière incidente; l'autre moitié, au moins, disait-on, obéit à l'ancienne loi de la réfraction donnée par Descartes; le carbonate de chaux, en tant que cristal, jouit ainsi de certaines propriétés particulières, mais sans avoir perdu celles dont tous les corps diaphanes ordinaires sont doués. Tout cela était exact dans le cristal d'Islande; tout cela

paraissait sans trop de hardiesse pouvoir être généralisé. Eh bien, on se trompait. Il existe des cristaux où les deux faisceaux en lesquels la lumière incidente se partage, éprouvent l'un et l'autre des réfractions anomales, où la loi de Descartes ne ferait connaître la route d'aucun rayon!

Lorsque Fresnel publia pour la première fois ce fait inattendu, il ne l'avait encore vérifié qu'à l'aide d'une méthode indirecte, remarquable par l'étrange circonstance que la réfraction des rayons se déduit d'expériences dans lesquelles aucune réfraction ne s'est opérée. Aussi notre confrère trouva-t-il plus d'un incrédule. La singularité de la découverte commandait peut-être quelque réserve; peut-être aussi, aux yeux de diverses personnes, avait-elle, comme l'ancienne loi d'Huyghens, le tort d'être le fruit d'une hypothèse! Quoi qu'il en soit, Fresnel aborda la difficulté de front. En montrant dans un parallélipipède de topaze formé de deux prismes de même angle adossés, qu'aucun rayon ne passait entre deux faces opposées et parallèles sans être dévié, il rendit toute objection inutile.

Les physiciens, je pourrais citer ici les noms les plus célèbres, qui avaient cherché à renfermer dans une seule règle tous les cas possibles de la double réfraction, s'étaient donc trompés, car ils admettaient unanimement, et comme un fait dont on ne pouvait douter, que pour la moitié de la lumière, que pour les rayons qu'ils appelaient ordinaires, les déviations devaient être les mêmes à égalité d'incidence, dans quelque sens qu'on eût coupé le cristal. La vraie loi de ces phénomènes compliqués, loi qui renferme comme cas particuliers les lois de Descartes et d'Huyghens, est due à Fresnel. Cette découverte exigeait au plus haut degré la réunion du talent des expériences et de l'esprit d'invention. (Arago, *Notices biographiques*, t. I, p. 121 : *Notice sur Fresnel.*)

Ces études conduisirent Fresnel à formuler plusieurs

théorèmes qui, d'après M. Verdet, doivent être regardés comme le point de départ d'une science nouvelle, qui est devenue aujourd'hui l'une des branches les plus importantes de l'étude de la nature : *la théorie générale de l'élasticité*. Sans doute on avait déjà traité bien des questions relatives à l'équilibre et au mouvement intérieur des corps, mais, excepté dans le cas des fluides élastiques, les solutions avaient été toujours empruntées à des considérations en partie théoriques, en partie empiriques et spéciales à chaque question, et même à des hypothèses inadmissibles. Fresnel fut le premier à introduire dans ces études les méthodes exactes et générales de la mécanique rationnelle, et si simple que fût le problème qu'il s'était posé, relativement aux problèmes qu'on a abordés plus tard, en le résolvant d'une manière rigoureuse, il fit ce qu'il y a à la fois de plus important et de plus rare, il ouvrit à la science une voie nouvelle. Les noms de Cauchy, de Green, de Poisson, de M. Lamé disent assez si cette voie a été féconde [1]. (VERDET, *Œuvres*, t. I, p. 273.)

1. Ce n'est pas arbitrairement, ni pour les besoins d'un vain panégyrique, qu'on rattache l'œuvre de ces savants illustres à l'œuvre de Fresnel, comme à son point de départ. Les travaux de Cauchy qui sont les plus beaux titres de ce grand géomètre dans le domaine de la physique mathématique, les mémoires sur l'équilibre et le mouvement intérieur des corps, considérés tantôt comme des masses continues, tantôt comme des assemblages de points matériels disjoints, qu'on trouve dans les premiers *Exercices de mathématiques*, sont postérieurs de quelques années aux recherches de Fresnel sur la double réfraction; l'application que l'auteur s'est hâté de faire des conséquences de son analyse aux théories de la double réfraction et de la dispersion fait bien voir que l'optique n'a jamais été étrangère à ses préoccupations. La polémique même que Poisson a soutenue contre Fresnel sur le principe de la théorie des ondes est une preuve de l'influence que les découvertes du physicien ont exercée sur l'esprit du géomètre. Enfin l'admirable mémoire où Green a établi, de la manière la plus simple et la plus solide, les bases définitives de la théorie de l'élasticité, a pour titre : *Sur la propagation de la lumière dans les milieux cristallisés*. Les premiers travaux de M. Lamé ont eu seuls leur origine plutôt dans la mécanique pratique que dans l'optique; mais on sait

Le mémoire sur la double réfraction fut présenté à l'Académie des sciences en novembre 1821. Le rapport sur ce mémoire signé Arago, Ampère et Fourier, signalait encore l'accord constant de l'observation avec les lois générales énoncées par l'auteur. Il fut l'occasion d'un incident remarquable. La plupart des géomètres de l'Académie, notamment Biot, Poisson, Laplace étaient restés attachés à la théorie newtonienne de l'émission.

Immédiatement après la lecture du rapport [1], Laplace prit la parole, et, avec cette générosité d'un grand esprit qui, dans l'adversaire de la veille, se plaît à reconnaître et à saluer un égal, proclama l'importance exceptionnelle du travail dont on venait de rendre compte : il félicita l'auteur de sa constance et de sa sagacité qui l'avaient conduit à découvrir une loi qui avait échappé aux plus habiles, et, devançant en quelque sorte le jugement de la postérité, déclara qu'il mettait ces recherches au-dessus de tout ce qu'on avait depuis longtemps communiqué à l'Académie. (Verdet, *Œuvres*, t. I, p. 377.)

Biot ne se rendit qu'un peu plus tard, mais non moins complètement. On lit, en effet, dans ses ***Mélanges scientifiques et littéraires***, t. I, p. 155, la note suivante :

Depuis l'époque où cette notice a été écrite (1822), tous les phénomènes que présente la physique de la lumière ont été, par le génie de Fresnel, si habilemeut et si intimement rattachés en nombres, à la doctrine du mouvement ondulatoire, qu'il est aujourd'hui presque impos-

quelle place M. Lamé a donnée plus tard à cette science dans ses leçons sur l'élasticité.

Les seuls écrits antérieurs à Fresnel où l'on trouve des notions justes sur les inégalités d'élasticité qui peuvent exister dans les corps et sur leur répartition régulière par rapport à certains axes ou plans de symétrie sont, à ma connaissance, ceux du grand minéralogiste allemand Samuel-Christian Weiss. (Verdet.)

1. 19 août 1822.

sible de se refuser à reconnaître la réalité de ce mode de constitution du principe lumineux.

A la suite de ces découvertes, Fresnel fut, par un vote unanime, nommé membre de l'Académie des sciences, le 12 mai 1823, à la place laissée vacante par la mort de Charles.

Quelques années auparavant, le 21 juin 1819, Fresnel avait été adjoint à la Commission des phares.

Ce fut là bientôt, dit Verdet [1], son occupation principale, et l'on ne saurait estimer trop haut les services que l'inventeur des phares lenticulaires rendit à son pays et, on peut le dire, à tout le monde civilisé. Cependant, à l'occasion de ces services, si grands qu'ils soient, on ne saurait se défendre d'un regret. D'autres ingénieurs auraient tôt ou tard imaginé les lentilles à échelons, les lampes à mèches concentriques, les phares à éclipses [2]; mais Fresnel pouvait seul continuer la révolution qu'il avait commencée dans la science. Qui peut dire ce qu'il aurait fait s'il lui avait été permis de poursuivre, sans interruption et libre de tout soin, le développement de ses fécondes pensées?

Nous empruntons à la notice déjà citée d'Arago sur Fresnel, le récit de ses travaux sur les phares.

Les phares.

Naguère encore, quant à la force de la lumière, les phares modernes étaient à peine supérieurs aux anciens. La première amélioration importante qu'ils aient reçue date de la lampe à double courant d'air d'Argant, invention admirable, qui serait beaucoup mieux appréciée si,

1. *Loc. cit.*, p. 386.
2. A. Fresnel n'a pas inventé les *phares à éclipses*; il en a seulement changé le système optique, en lui donnant une plus grande portée et des apparences plus variées. — L. F.

de même que nos musées renferment les œuvres des siècles de décadence dans un but purement historique, les conservatoires industriels offraient de temps à autre aux regards du public les moyens d'éclairage si ternes, si malpropres, si nauséabonds, qu'on employait il y a cinquante ans, à côté de ces lampes élégantes dont la lumière vive et pure le dispute à celle d'un beau jour d'été.

Quatre ou cinq lampes à double courant d'air réunies donneraient, sans aucun doute, autant de clarté que les larges feux qu'entretenaient les Romains, à si grands frais, sur les tours élevées d'Alexandrie, de Pouzzole, de Ravenne; mais, en combinant ces lampes avec des miroirs réfléchissants, leurs effets naturels peuvent être prodigieusement agrandis. Les principes de cette dernière invention doivent nous arrêter un instant, car ils nous feront apprécier les travaux de Fresnel à leur juste valeur.

La lumière des corps enflammés se répand uniformément dans toutes les directions. Une portion tombe vers le sol, où elle se perd; une portion différente s'élève et se dissipe dans l'espace; le navigateur, dont vous voulez éclairer la route, profite des seuls rayons qui se sont élancés, à peu près horizontalement de la lampe vers la mer; tous les rayons, même horizontaux, dirigés du côté de la terre, ont été produits en pure perte.

Cette zone de rayons horizontaux forme non seulement une très petite partie de la lumière totale; elle a de plus le grave inconvénient de s'affaiblir beaucoup par divergence, de ne porter au loin qu'une lueur à peine sensible. Détruire cet éparpillement fâcheux, profiter de toute la lumière de la lampe, tel était le double problème qu'on avait à résoudre pour étendre la portée ou l'utilité des phares. Les miroirs métalliques profonds, connus sous le nom de *miroirs paraboliques*, en ont fourni une solution satisfaisante.

Quand une lampe est placée au foyer d'un tel miroir,

tous les rayons qui en émanent sont ramenés, par la réflexion qu'ils éprouvent sur les parois, à une direction commune ; leur divergence primitive est détruite : ils forment, en sortant de l'appareil, un cylindre de lumière parallèle à l'axe du miroir. Ce faisceau se transmettrait aux plus grandes distances avec le même éclat si l'atmosphère n'en absorbait pas une partie.

Avant d'aller plus loin, hâtons-nous de le reconnaître, cette solution n'est pas sans inconvénient. On ramène bien ainsi vers l'horizon de la mer une multitude de rayons qui auraient été se perdre sur le sol, vers l'espace ou dans l'intérieur des terres. On anéantit même la divergence primitive de ceux de ces rayons qui naturellement se portaient vers le navigateur; mais le cylindre de lumière réfléchie n'a plus que la largeur du miroir; la zone qu'il éclaire a précisément les mêmes dimensions à toute distance, et à moins qu'on n'emploie beaucoup de miroirs pareils diversement orientés, l'horizon contient de nombreux et larges espaces complètement obscurs où le pilote ne reçoit jamais aucun signal. On a vaincu cette grave difficulté en imprimant, à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie, un mouvement uniforme de rotation au miroir réfléchissant. Le faisceau lumineux sortant de ce miroir est alors successivement dirigé vers tous les points de l'horizon; chaque navire aperçoit un instant et voit ensuite disparaître la lumière du phare; et si dans une grande étendue de côte, de Bayonne à Brest, par exemple, il n'existe pas deux mouvements de rotation de même durée, tous les signaux sont, pour ainsi dire, individualisés. D'après l'intervalle qui s'écoule entre deux apparitions ou deux éclipses successives de la lumière, le navigateur sait toujours quelle position de la côte est en vue; il ne se trouve plus exposé à prendre pour un phare telle planète, telle étoile de première grandeur voisine de son lever ou de son coucher, ou bien ces feux accidentels allumés sur la côte par des pêcheurs, des bûcherons ou des charbon-

niers; méprises fatales qui souvent ont été la cause des plus déplorables naufrages.

Une lentille diaphane ramène au parallélisme tous les rayons lumineux qui la traversent, quel que soit leur degré primitif de divergence, pourvu que ces rayons partent d'un point convenablement situé qu'on appelle *le foyer*. Des lentilles de verre peuvent donc être substituées aux miroirs, et en effet, un phare lenticulaire avait été exécuté depuis longtemps en Angleterre, dans l'idée, au premier aspect très plausible, qu'il serait beaucoup plus brillant que les phares à réflecteurs. L'expérience, toutefois, était venue démentir ces prévisions; les miroirs, malgré l'énorme perte de rayons qui se faisait à leur surface dans l'acte de la réflexion, portaient à l'horizon des feux plus intenses; les lentilles furent donc abandonnées.

Les auteurs inconnus de cette tentative avortée avaient marché au hasard. En s'occupant du même problème, Fresnel, avec sa pénétration habituelle, aperçut du premier coup d'œil où gisait la difficulté. Il vit que des phares lenticulaires ne deviendraient supérieurs aux phares à réflecteurs qu'en augmentant considérablement l'intensité de la flamme éclairante, qu'en donnant aux lentilles d'énormes dimensions qui semblaient dépasser tout ce qu'on pouvait attendre d'une fabrication ordinaire. Il reconnut encore que ces lentilles devraient avoir un très court foyer; qu'en les exécutant suivant les formes habituelles, elles auraient une grande épaisseur et peu de diaphanéité, que leur poids serait considérable, qu'il fatiguerait beaucoup les rouages destinés à faire tourner tout le système, et qu'il en amènerait promptement la destruction.

On évite cette épaisseur excessive des lentilles ordinaires, leur énorme poids et le manque de diaphanéité qui en seraient les conséquences, en les remplaçant par des lentilles d'une forme particulière, que Buffon avait imaginées pour un tout autre objet, et qu'il appelait des

lentilles à échelons. Il est possible aujourd'hui de construire les plus grandes lentilles de cette espèce, quoiqu'on ne sache pas encore fabriquer d'épaisses masses de verre exemptes de défauts. Il suffit de les composer d'un certain nombre de petites pièces distinctes, comme Condorcet l'avait proposé.

Je pourrais affirmer ici qu'au moment où l'idée des lentilles à échelons se présenta à l'esprit de Fresnel, il n'avait jamais eu connaissance des projets antérieurs de Buffon et de Condorcet; mais des réclamations de cette nature n'intéressent que l'amour-propre de l'auteur : elles n'ont point de valeur pour le public. A ses yeux, il n'y a, je dirai plus, il ne doit y avoir qu'un seul inventeur : celui qui le premier a fait connaître la découverte. Après une aussi large concession, il me sera du moins permis de remarquer qu'en 1820 il n'existait pas encore une seule lentille à échelons dans les cabinets de physique; que d'ailleurs, jusque-là, on les avait envisagées seulement comme des moyens de produire de grands effets calorifiques; que c'est Fresnel qui a créé des méthodes pour les construire avec exactitude et économie; que c'est lui enfin, et lui tout seul, qui a songé à les appliquer aux phares. Toutefois, cette application, je l'ai déjà indiqué, n'aurait conduit à aucun résultat utile, si on ne l'eût pas combinée avec des modifications convenables de la lampe, si la puissance de la flamme éclairante n'avait pas été considérablement augmentée. Cette importante partie du système exigeait des études spéciales, des expériences nombreuses et assez délicates. Fresnel et un de ses amis (Arago) s'y livrèrent avec ardeur, et leur commun travail conduisit à une lampe à plusieurs mèches concentriques, dont l'éclat égalait 25 fois celui des meilleures lampes à double courant d'air.

Dans les phares à lentilles de verre, imaginés par Fresnel, chaque lentille envoie successivement vers tous les points de l'horizon une lumière équivalente à celle de

3 000 à 4 000 lampes à double courant d'air réunies; c'est 8 fois ce que produisent les beaux réflecteurs paraboliques argentés dont nos voisins font usage; c'est aussi l'éclat qu'on obtiendrait en rassemblant le tiers de la quantité totale des lampes à gaz qui tous les soirs éclairent les rues, les magasins et les théâtres de Paris. Un tel résultat ne paraîtra pas sans importance si l'on veut bien remarquer que c'est avec une seule lampe qu'on l'obtient. En voyant d'aussi puissants effets, l'administration s'empressa d'autoriser Fresnel à faire construire un de ses appareils, et elle désigna la tour élevée de Cordouan, à l'embouchure de la Gironde, comme le point où il serait installé. Le nouveau phare était déjà construit dès le mois de juillet 1823.

Le phare de Fresnel a déjà eu pour juges, durant sept années consécutives, cette multitude de marins de tous les pays qui fréquentent le golfe de Gascogne. Il a été aussi étudié soigneusement sur place par de très habiles ingénieurs, venus tout exprès du nord de l'Écosse avec une mission spéciale du gouvernement anglais. Je serai ici l'interprète des uns et des autres en affirmant que la France, où déjà l'importante invention des feux tournants avait pris naissance, possède maintenant, grâce aux travaux de notre savant confrère, les plus beaux phares de l'univers. Il est toujours glorieux de marcher à la tête des sciences; mais on éprouve surtout une vive satisfaction à réclamer le premier rang pour son pays, quand il s'agit d'une de ces applications heureuses auxquelles toutes les nations sont appelées à prendre une part égale, et dont l'humanité n'aura jamais à gémir. (ARAGO, *Notices biographiques*, t. I, p. 171.)

En 1824, la santé de Fresnel s'altéra gravement.

Depuis ce moment, il n'eut plus les forces suffisantes pour mener de front ses recherches scientifiques et ses travaux d'ingénieur. Dominé par le sentiment du devoir, par les habitudes d'abnégation dont il avait trouvé chez

ses parents l'enseignement et l'exemple, il sacrifia ce qui pouvait n'intéresser que sa propre gloire, et donna au service des phares tous les moments de repos que lui laissaient ses maladies. Ce ne fut qu'au commencement de 1827 qu'il demanda et obtint de se faire soulager par son frère, qui fut depuis son successeur. Mais il était trop tard. Quatre mois après, le 14 juillet 1827, il mourait à Ville-d'Avray entre les bras de sa mère [1].

Vingt-cinq ans auparavant, cette pieuse et noble femme en faisant part à son mari des brillants succès de collège d'un frère aîné d'Augustin Fresnel (mort jeune au siège de Badajoz), ajoutait, au lieu des paroles de joie si naturelles à une mère :

« Je prie Dieu de faire à mon fils la grâce d'employer les grands talents qu'il a reçus pour son utilité et le bien général. — On demandera beaucoup à celui à qui on aura beaucoup donné, et on exigera plus de celui qui aura plus reçu [2].... »

Qui a mieux rempli qu'Augustin Fresnel ce vœu formé en faveur d'un autre? (VERDET, *Œuvres*, t. I, p. 387.)

On lira maintenant avec intérêt quelques pages empruntées à Fresnel lui-même, dans l'article *de la Lumière*, écrit par lui en 1822 pour le supplément à la traduction française de la

1. Le 13 février 1866, Émile Verdet, déjà très affaibli par une affection organique dont les symptômes s'étaient rapidement aggravés, lisant à son collaborateur la présente introduction à peine achevée, insista sur ce passage pour s'assurer de son exactitude historique, et s'enquit de nouveau avec un douloureux intérêt, peut-être aussi avec le pressentiment d'une semblable destinée, des circonstances de la fin prématurée d'Augustin Fresnel....

Le 3 juin, trois mois après cette *dernière* conférence, Émile Verdet s'éteignait à Avignon, dans le sein de sa famille, à l'âge de quarante-deux ans!

Il n'avait pu revoir sa dernière et si remarquable production, avant son départ de Paris. Le manuscrit, tracé par une main défaillante, présente quelques lacunes et *lapsus calami* que l'on a essayé de faire disparaître, du moins en majeure partie. — L. F. *.

2. *Saint Luc*, ch. XII, v. 48.

* Léonor Fresnel, frère et successeur d'Aug. Fresnel à la direction des Phares.

chimie de Thomson. Cet article, ou plutôt ce traité de la lumière, contient un résumé de ses travaux. Il est emprunté à l'édition déjà citée des Œuvres complètes d'Augustin Fresnel, *publiées par les soins du Ministre de l'instruction publique*. Paris, Imprimerie Nationale, 3 vol. in-4.

Diffraction de la lumière.

On appelle *diffraction* de la lumière les modifications qu'elle éprouve en passant auprès des extrémités des corps.

Lorsqu'on fait entrer les rayons solaires dans une chambre obscure par une ouverture d'un très petit diamètre, on remarque que les ombres des corps, au lieu d'être terminées nettement et d'une manière tranchée, comme cela devrait arriver si la lumière marchait toujours en ligne droite, sont fondues sur leurs contours et bordées de trois franges colorées bien distinctes, dont les largeurs sont inégales et vont en diminuant de la première à la troisième; quand le corps interposé est assez étroit, on voit même des franges dans son ombre, qui paraît alors divisée par des bandes obscures et des bandes plus claires, placées à des distances égales les unes des autres. Nous appellerons cette seconde espèce de franges *franges intérieures*, et les autres *franges extérieures*.

Grimaldi est le premier physicien qui les ait observées et étudiées avec soin [1]. Newton, qui s'est occupé aussi de la diffraction, et a même consacré à ce sujet le dernier livre de son *Optique*, ne paraît pas avoir remarqué les franges intérieures, quoique ses recherches fussent postérieures à celles de Grimaldi; car il a dit dans la 28e question du livre III de son *Optique*, en objectant au système des ondulations que les ondes lumineuses devraient

1. Grimaldi, *Physico-mathesis de lumine*. Bologne, 1665.

se répandre dans l'ombre des corps : « Il est vrai que les rayons, passant le long d'un corps, s'infléchissent un peu, comme je l'ai fait voir plus haut ; mais *cette inflexion ne se fait pas vers l'ombre*, elle se fait du côté opposé et seulement lorsque les rayons passent à une très petite distance du corps, après quoi ils se propagent en ligne droite ». On a peine à concevoir comment l'inflexion de la lumière dans l'intérieur des ombres a pu échapper à un aussi habile observateur, surtout quand on réfléchit qu'il avait fait des expériences sur les corps les plus étroits, puisqu'il a même employé des cheveux. On serait tenté de croire que ses préventions théoriques ont pu contribuer, jusqu'à un certain point, à lui fermer les yeux sur ces phénomènes importants, qui affaiblissaient beaucoup l'objection principale sur laquelle il fondait la supériorité de son système.... (FRESNEL, *Œuvres*, t. II, p. 7.)

De la double réfraction et de la polarisation.

Lorsqu'on fait tomber un faisceau lumineux sur une des faces naturelles d'un rhomboïde de spath calcaire, il se divise dans son intérieur en deux autres faisceaux, qui suivent des routes différentes, et présentent ainsi deux images des objets vus au travers du rhomboïde. On a donné le nom de double réfraction à ce phénomène, ainsi qu'à tous ceux du même genre que produisent beaucoup d'autres cristaux, quand on les taille en prismes pour rendre plus sensible la séparation des deux images.

Mais cette bifurcation de la lumière n'est pas le seul fait remarquable qu'offre la double réfraction : chacun des deux faisceaux dans lesquels se divisent les rayons incidents jouit de propriétés singulières, qui établissent des différences entre ses côtés. Pour décrire avec précision les phénomènes qu'elles présentent, il est nécessaire d'employer et de faire connaître les expressions usitées.

Dans les cristaux où les lois de la double réfraction sont réduites à leur plus grande simplicité, il est toujours une certaine direction autour de laquelle les choses se passent de la même manière de tous les côtés, qu'on appelle l'axe du cristal. Il ne faut pas le regarder comme une ligne unique; on peut concevoir autant d'axes dans un cristal que de lignes parallèles à cette direction; et cependant celui-ci porte le nom de cristal à un seul axe, si d'ailleurs il y a une parfaite similitude dans les phénomènes optiques tout autour de l'axe. On voit que ce terme perd ici son acception ordinaire et devient synonyme de direction. On conçoit que la direction de l'axe tient à l'arrangement cristallin des particules du milieu, et qu'elle doit avoir, relativement à leurs faces ou leurs lignes de cristallisation, une position déterminée, qui reste toujours la même dans le cristal, de quelque manière qu'on le présente aux rayons incidents.

Il existe des cristaux où la similitude autour de l'axe n'a pas lieu, et où il en résulte la manifestation de deux directions particulières plus ou moins inclinées entre elles, qui présentent des phénomènes semblables à ceux qu'on observe suivant l'axe lorsque tout est pareil autour de lui : on les appelle cristaux à deux axes. Mais nous ne parlerons que des cristaux à un axe, dont les propriétés optiques sont plus simples et plus faciles à saisir.

On appelle *section principale* le plan mené par l'axe perpendiculairement à la surface du cristal. Comme notre objet n'est pas d'exposer ici toutes les manières diverses dont les rayons lumineux sont brisés par les cristaux, mais seulement leur mode de propagation dans ces milieux, et les propriétés optiques qu'ils y prennent, nous supposerons pour simplifier les raisonnements, que les rayons incidents sont toujours perpendiculaires aux faces du cristal, et compris ainsi dans le plan de sa section principale : quand nous voudrons étudier leur

marche dans des directions diverses par rapport à l'axe, nous supposerons chaque fois que les faces d'entrée et de sortie ont été taillées perpendiculairement à ces directions.

Cela posé, on remarque dans le carbonate de chaux, dont la double réfraction est très forte, qu'un des deux faisceaux prend une direction oblique à la surface, quoique les rayons incidents lui soient perpendiculaires; tandis que l'autre n'éprouve aucun brisement, conformément à la loi ordinaire de la réfraction; aussi dit-on de celui-ci qu'il est réfracté *ordinairement*, et de l'autre qu'il est réfracté *extraordinairement*; et, pour les distinguer l'un de l'autre, on leur donne les mêmes noms qu'au mode de réfraction qu'ils éprouvent; ainsi l'on appelle faisceau *ordinaire* celui qui subit la réfraction ordinaire, et faisceau *extraordinaire* celui qui éprouve la réfraction extraordinaire : on donne pareillement le nom d'image *ordinaire* à celle qui est produite par les rayons ordinaires, et le nom d'image *extraordinaire* à celle qui provient des rayons extraordinaires. Dans les autres cristaux doués de la double réfraction, tels que le cristal de roche, la même bifurcation a lieu dans les mêmes circonstances, mais si faiblement qu'il faudrait des plaques très épaisses pour la rendre sensible. On y parvient plus aisément en taillant le cristal de manière que la face de sortie soit inclinée sur la première; ce qui fait que les deux faisceaux, ne sortant plus dans des directions parallèles, finissent toujours par se séparer, si on les suit un peu loin. Mais, sans nous occuper des détails des expériences qui établissent les lois générales de la double réfraction, nous exposerons seulement les principaux résultats auxquels elles ont conduit.

Il est à remarquer d'abord que, lorsque les rayons incidents sont perpendiculaires à la surface du cristal, comme nous le supposons, la déviation du faisceau extraordinaire se fait toujours suivant le plan de la section

principale, et ensuite que cette déviation devient nulle toutes les fois que les rayons traversent le cristal parallèlement ou perpendiculairement à l'axe.

L'observation a démontré que, lorsque les rayons sont parallèles à l'axe, ils ne suivent pas seulement la même direction, mais parcourent le cristal avec la même vitesse; et quand ils sont perpendiculaires à l'axe, c'est au contraire alors que leurs vitesses de propagation diffèrent le plus, quoiqu'ils suivent encore la même route. La vitesse de propagation des rayons ordinaires est la même dans toutes les directions, et c'est pour cela qu'ils sont assujettis aux lois ordinaires de la réfraction. La vitesse des rayons extraordinaires varie suivant l'angle qu'ils font avec l'axe; et l'on juge de cette vitesse, dans le système des ondulations comme dans celui de l'émission, par le brisement qu'ils éprouvent à leur entrée et leur sortie sous des incidences obliques, lequel donne le rapport entre les sinus des angles d'incidence et de réfraction. Les expériences de Huyghens, de M. Wollaston et de Malus sur le carbonate de chaux, et les observations nombreuses de M. Biot sur le cristal de roche, dans lesquelles il a porté à un haut degré de précision les mesures angulaires de la double réfraction, démontrent que la différence entre les carrés des vitesses de propagation des rayons ordinaires et extraordinaires est proportionnelle au carré du sinus de l'angle que la direction de ceux-ci fait avec l'axe, si l'on calcule les vitesses d'après l'hypothèse de l'émission, comme l'a fait le célèbre auteur de la *Mécanique céleste*; et dans la théorie des ondulations, c'est entre les quotients de l'unité divisée par les mêmes carrés qu'existe cette relation; car les rapports des vitesses sont toujours inverses dans les deux systèmes. Cette loi importante, dont la découverte est due au génie de Huyghens, nous représente comme des conséquences les faits que nous venons d'exposer : les deux espèces de rayons auront la même vitesse dans la direction de l'axe, puisque alors

ce sinus est égal à zéro; et la différence de vitesse croîtra graduellement avec ce sinus à mesure qu'ils s'éloignent de l'axe, jusqu'à ce qu'ils lui soient perpendiculaires, direction où elle atteindra son maximum.

Cette différence de vitesse est positive dans certains cristaux, et négative dans d'autres; c'est-à-dire que dans les uns les rayons ordinaires marchent moins vite que les rayons extraordinaires, et que dans les autres au contraire ils ont plus de vitesse. Le carbonate de chaux ou spath calcaire offre un exemple du premier cas, et le cristal de roche du second.

Voilà l'exposé succinct des principes généraux de la marche des rayons ordinaires et extraordinaires dans le cristal : revenons maintenant aux propriétés physiques qu'ils manifestent à leur sortie, lorsqu'on leur fait traverser un second cristal capable, comme le premier, de diviser la lumière en deux faisceaux distincts [1].

Considérons successivement chacun des deux faisceaux qui sortent du premier rhomboïde de spath calcaire, et d'abord celui qui a été réfracté ordinairement. Les deux nouveaux faisceaux qu'il produit en traversant le second rhomboïde ne sont d'égale intensité qu'autant que la section principale du second cristal fait un angle de 45° avec celle du premier; pour toutes les autres positions, les deux faisceaux ou les deux images qu'ils donnent, ont des intensités inégales, et même un d'eux s'évanouit entièrement lorsque la section principale du second rhomboïde est parallèle ou perpendiculaire à celle du premier; quand elle lui est parallèle, c'est l'image extraordinaire qui s'évanouit, et l'image ordinaire parvient en même temps à son maximum d'éclat; quand la section principale du second

1. J'emploierai dorénavant l'expression de *faisceau*, empruntée à la théorie de l'émission pour désigner en général un système d'ondes qui se sépare des autres par sa direction, ou même simplement par sa différence de vitesse.



rhomboïde est perpendiculaire à celle du premier, c'est au contraire l'image ordinaire qui disparaît, l'image extraordinaire qui atteint son maximum. Le faisceau extraordinaire sorti du premier rhomboïde présente, en traversant le second, des effets inverses; son image ordinaire devient nulle quand la section principale du second cristal est parallèle à celle du premier; elle atteint son maximum, au contraire, quand la section principale du second cristal est perpendiculaire à celle du premier, et c'est alors l'image extraordinaire qui s'évanouit. En résumant, nous voyons donc que chaque faisceau produit par une des deux réfractions du premier cristal se partage généralement entre les deux réfractions dans le second, mais en portions inégales, tant que la section principale du second cristal ne fait pas un angle de 45° avec celle du premier; qu'il n'éprouve plus qu'un seul mode de réfraction dans le second cristal quand la section principale de celui-ci est parallèle ou perpendiculaire à celle du premier, et que cette nouvelle réfraction est de même nature dans le premier cas, et de nom contraire dans le second.

Il résulte de ces faits que les deux faisceaux produits par la double réfraction n'ont pas les mêmes propriétés optiques tout autour de leur direction, puisqu'ils subissent tantôt la réfraction ordinaire et tantôt la réfraction extraordinaire, selon que la section principale du second cristal est dirigée suivant un certain plan ou perpendiculairement à ce plan. Si donc on mène des lignes droites perpendiculaires aux rayons suivant ces plans, et qu'on les conçoive emportées par le système d'ondes dans sa marche, elles indiqueront les deux sens dans lesquels il présente des propriétés optiques opposées.

Malus a donné le nom de polarisation à cette singulière modification de la lumière, d'après une hypothèse que Newton avait imaginée pour expliquer le phénomène; ce grand géomètre supposait que les molécules lumineuses ont deux sortes de pôles, ou plutôt de faces, jouissant de

propriétés physiques différentes; que dans la lumière ordinaire les faces de même espèce des diverses molécules lumineuses sont tournées dans toutes sortes de sens, mais que par l'action du cristal les unes se trouvent dirigées parallèlement à sa section principale et les autres perpendiculairement, et que le genre de réfraction qu'éprouvent les molécules lumineuses tient au sens dans lequel leurs faces sont tournées relativement à la section principale. On conçoit qu'on peut, en effet, représenter les faits avec cette hypothèse. Sans m'arrêter à la discuter et à faire voir les difficultés, je dirais même les contradictions auxquelles elle conduit dans un examen approfondi, je ferai remarquer seulement qu'on peut aussi concevoir cette différence des propriétés optiques que présentent, dans deux sens rectangulaires, les faisceaux séparés par la double réfraction, en supposant dans les ondes lumineuses des mouvements transversaux [1] qui ne seraient pas les mêmes dans les deux sens. Mais abandonnons toute idée théorique pour le moment, et continuons à étudier les faits.

Ce n'est pas seulement par son passage au travers d'un cristal qui la divise en deux faisceaux distincts que la lumière reçoit cette singulière modification; elle peut encore être polarisée par la simple réflexion sur la surface des corps transparents, ainsi que Malus l'a observé le premier. Si l'on fait tomber sur une glace non étamée un faisceau de lumière directe sous une obliquité de 35° environ comptés à partir de la surface, et qu'on place un rhomboïde de spath calcaire sur le trajet du rayon réfléchi, on remarque que les deux faisceaux dans lesquels il se divise en traversant le cristal ne sont d'égale intensité que lorsque la section principale du rhomboïde fait un

1. J'appelle mouvements *transversaux* des oscillations des molécules éthérées qui s'exécuteraient perpendiculairement à la direction des rayons.



angle de 45° avec le plan de réflexion, et que pour toutes les autres directions de la section principale les intensités des images sont inégales : cette inégalité est d'autant plus sensible que la section principale s'écarte plus de l'angle de 45°; et enfin, lorsqu'elle est parallèle ou perpendiculaire au plan d'incidence, l'une des deux images s'évanouit : c'est l'image extraordinaire dans le premier cas, et l'image ordinaire dans le second. On voit que la lumière réfléchie sur le verre, sous l'inclinaison de 35°, se comporte précisément comme le faisceau ordinaire sorti d'un rhomboïde dont la section principale aurait été dirigée dans le plan de réflexion. On dit du faisceau réfléchi qu'*il est polarisé dans le plan de réflexion*, et pareillement du faisceau ordinaire sorti d'un rhomboïde de spath calcaire, qu'il est polarisé dans le plan de la section principale de ce cristal; on doit donc dire aussi que le faisceau extraordinaire est polarisé perpendiculairement à la section principale, puisqu'il présente dans ce sens les mêmes propriétés que le faisceau ordinaire dans le plan de la section principale.

La polarisation complète de la lumière s'opère par réflexion à la surface de l'eau sous l'inclinaison de 37°, et, en général, à la surface des corps transparents sous une incidence telle que le rayon réfléchi soit perpendiculaire au rayon réfracté. La découverte de cette loi remarquable est due au docteur Brewster. Est-ce une loi rigoureuse, ou n'est-elle qu'approximative? La question est difficile à décider; mais la seconde hypothèse paraîtrait la plus probable[1].

Sous les autres incidences la polarisation n'est que partielle, c'est-à-dire qu'en faisant tourner le rhomboïde on ne voit jamais disparaître une image. Elles passent bien à la vérité par des degrés différents de clarté; mais leurs

1. On sait que Fresnel est parvenu plus tard à donner une démonstration théorique de la loi de M. Brewster.

minima d'intensité, qui répondent toujours aux mêmes directions de la section principale, ne sont plus égaux à zéro. Enfin, lorsque les rayons incidents sont perpendiculaires ou presque parallèles à la surface, la lumière réfléchie ne présente plus aucune trace de polarisation, c'est-à-dire que les deux images sont toujours d'égale intensité dans toutes les positions du rhomboïde.

Plusieurs corps opaques qui ne sont pas trop réfringents, tels que le marbre, les vernis noirs, etc., peuvent imprimer aussi une polarisation complète aux rayons qu'ils réfléchissent régulièrement sur leur surface; tandis que d'autres corps parfaitement diaphanes ou demi-transparents, mais très réfringents, tels que le diamant ou le verre d'antimoine, ne la polarisent jamais parfaitement. Mais ce sont surtout les métaux qui polarisent le moins bien la lumière qu'ils réfléchissent, même sous les incidences les plus favorables. Il est à remarquer que les incidences qui répondent au maximum de polarisation se rapprochent d'autant plus de la surface que le corps réfléchissant est plus réfringent, autant qu'on en peut juger du moins par l'abondance de la lumière qu'il réfléchit, quand il est tout à fait opaque comme les métaux.

Les corps transparents ne polarisent pas seulement la lumière par réflexion, ils la polarisent encore par réfraction, et d'autant plus que leur surface est plus inclinée relativement aux rayons; mais elle n'est jamais complètement polarisée de cette manière, à moins qu'on ne lui fasse traverser successivement plusieurs plaques parallèles : il en faut d'autant plus qu'elles sont moins inclinées sur les rayons incidents. Malus, auquel on doit encore la découverte de ce mode de polarisation, montra que les rayons transmis étaient polarisés dans un sens perpendiculaire à celui des rayons réfléchis; ainsi les premiers étant polarisés suivant le plan d'incidence, les seconds le sont perpendiculairement à ce plan. M. Arago a reconnu, par des expériences ingénieuses qui lui fournissaient des

moyens d'observation très précis, que la quantité de lumière polarisée par réflexion sur la surface est toujours égale à celle qui se polarise par réfraction. On peut généraliser l'énoncé de ce principe remarquable, et dire que, toutes les fois que la lumière se divise en deux faisceaux (sans qu'il y ait absorption), la même quantité de lumière polarisée dans l'un se retrouve dans l'autre polarisée suivant une direction perpendiculaire.... (FRESNEL, *Œuvres*, t. II, p. 91.)

Je bornerai ici cet extrait de mes mémoires.... J'ai cru devoir me borner à exposer les propriétés les plus générales de la lumière et les faits élémentaires, si je puis m'exprimer ainsi, c'est-à-dire ceux qui reviennent le plus fréquemment et dont les autres ne sont en quelque sorte que des combinaisons plus ou moins complexes. J'ai montré comment la théorie des ondulations pouvait les expliquer et fournir les moyens d'en représenter les lois par des expressions analytiques. Pour calculer les phénomènes si variés de la diffraction, celui des anneaux colorés produits par une lame mince d'air ou d'eau ou de tout autre milieu réfringent, la réfraction même, dans laquelle le rapport du sinus d'incidence au sinus des rayons réfractés est précisément celui des longueurs d'ondulations dans les deux milieux, les couleurs et les singuliers modes de polarisation que présentent les lames cristallisées, il suffit de connaître les diverses longueurs d'ondulation de la lumière dans les milieux qu'elle traverse; c'est la seule quantité qu'on soit obligé d'emprunter à l'expérience, et elle est la base de toutes les formules. Si l'on fait attention à ces relations intimes et multipliées que la théorie des ondulations établit entre les phénomènes les plus différents, on doit être frappé à la fois de sa simplicité et de sa fécondité, et convenir que, lors même qu'elle n'aurait pas sur le système de l'émission l'avantage d'expliquer plusieurs faits absolument inconcevables dans celui-ci, elle mériterait déjà la préférence

par les moyens qu'elle donne de lier entre eux tous les phénomènes de l'optique en les embrassant dans des formules générales.

Sans doute il reste encore beaucoup de points obscurs à éclaircir, surtout ceux qui tiennent à l'absorption de la lumière, tels que la réflexion sur les surfaces métalliques et les corps noirs, le passage de la lumière à travers les milieux imparfaitement transparents et les couleurs propres des corps. Il est probable que dans ces différents cas une partie de la lumière se trouve dénaturée et changée en vibrations calorifiques qui ne sont plus sensibles pour nos yeux, parce qu'elles ne peuvent plus en pénétrer la substance ou faire vibrer le nerf optique à leur unisson, en raison des modifications qu'elles ont éprouvées. Mais la quantité totale de force vive doit rester la même, à moins que l'action de la lumière n'ait produit un effet chimique ou calorifique assez puissant pour changer l'état d'équilibre des particules des corps et avec lui l'intensité des forces auxquelles elles sont soumises; car on conçoit que si ces forces s'affaiblissaient tout à coup, il en résulterait une diminution subite dans l'énergie des oscillations des particules du corps échauffé, et par conséquent une absorption de chaleur, pour me servir de l'expression usitée. C'est peut-être ainsi que les choses se passent quand un solide se liquéfie ou quand un liquide se vaporise.

Si la lumière n'est qu'un certain mode de vibration d'un fluide universel, comme les phénomènes de la diffraction le démontrent, on ne doit plus supposer que son action chimique sur les corps consiste dans une combinaison de ses molécules avec les leurs, mais dans une action mécanique que les vibrations de ce fluide exercent sur les molécules pondérables, et qui les oblige à de nouveaux arrangements, à de nouveaux systèmes d'équilibre plus stables, pour l'espèce ou l'énergie des vibrations auxquelles elles sont exposées. On voit combien l'hypo-

thèse que l'on adopte sur la nature de la lumière et de la chaleur peut changer la manière de concevoir leurs actions chimiques, et combien il importe de ne pas se méprendre sur la véritable théorie pour arriver enfin à la découverte des principes de la mécanique moléculaire, dont la connaissance jetterait un si grand jour sur toute la chimie. Si quelque chose doit contribuer puissamment à cette grande découverte et révéler les secrets de la constitution intérieure des corps, c'est l'étude approfondie des phénomènes de la lumière. (Fresnel, *Œuvres*, t. II, p. 139.)

La lettre suivante marque le point de départ des recherches d'Augustin Fresnel sur la théorie de la lumière. Elle est adressée à son frère Léonor, et datée de Nyons, 5 juillet 1814.

.... Passons à la lumière. Suivant le système de Newton, les molécules lumineuses s'élancent des corps radieux pour arriver jusqu'à nous. Mais n'est-il pas probable que, dans un corps qui lance de la lumière, les molécules lumineuses doivent être chassées avec plus ou moins de vitesse, puisqu'elles ne se trouvent pas toutes dans les mêmes circonstances, et que vraisemblablement les unes sont exposées à une plus forte répulsion que les autres [1]? Or, si l'on admet que les molécules lumineuses, en partant du soleil, par exemple, peuvent avoir différentes vitesses, il s'ensuit qu'elles doivent avoir différents degrés de réfrangibilité. Mais les rayons de même couleur sont toujours également réfrangibles : il faut donc supposer que les différences de couleur viennent des différences de vitesse. Il s'ensuivrait que les premiers rayons qui nous arriveraient après une éclipse de soleil seraient des rayons rouges; or, d'après un calcul que j'ai fait dans

1. Cela est si probable que beaucoup de physiciens supposent qu'il n'y a entre le calorique et la lumière d'autre différence que celle de vitesse.

cette hypothèse, mais dont je ne te garantis pas l'exactitude, il s'écoulerait assez de temps entre l'arrivée des rayons rouges et des rayons violets pour que nous nous aperçussions de la différence de couleur. Mais nous savons par l'expérience qu'il n'en est rien. — Tire-toi, ou plutôt tire-moi de là. Tu es dans la société des savants, et si tu n'en viens pas à bout tout seul, tu peux avec leur secours pulvériser mes objections.

En attendant, je t'avoue que je suis fort tenté de croire aux vibrations d'un fluide particulier pour la transmission de la lumière et de la chaleur. On expliquerait l'uniformité de vitesse de la lumière comme on explique celle du son; et l'on verrait peut-être dans les dérangements d'équilibre de ce fluide la cause des phénomènes électriques. On concevrait facilement pourquoi un corps perd tant de chaleur sans perdre de son poids, pourquoi le soleil nous éclaire depuis si longtemps sans diminuer de volume, etc. (FRESNEL, *Œuvres*, t. II, p. 821.)

Les idées de Fresnel sur la direction des vibrations lumineuses ont reçu récemment une confirmation expérimentale, longtemps cherchée en vain, qui a fait ressortir la profondeur du génie de notre illustre compatriote. M. Cornu a décrit et apprécié cette expérience due à M. Otto Wiener, de Strasbourg, dans la séance de l'Académie des sciences du 26 janvier 1891.

Le problème de la direction des vibrations de la lumière polarisée manquait, jusqu'à ces derniers temps, d'une solution expérimentale directe. Fresnel, il est vrai, avait apporté tant de considérations décisives tirées des lois de la réflexion et de la double réfraction de la lumière en faveur de la normalité de la vibration au plan de polarisation, qu'aucun doute à ce sujet ne subsistait dans l'esprit de la plupart des physiciens. Toutefois l'obtention d'une preuve expérimentale directe était désirable : l'Académie l'avait mise plusieurs fois au concours, mais aucune réponse n'avait apporté la solution définitive de la question.

L'Académie apprendra sans doute avec intérêt que cette démonstration vient d'être faite.

M. Cornu donne ensuite la description, qui ne saurait trouver place ici, de l'expérience de M. O. Wiener. Il continue ainsi :

Les vibrations de la lumière polarisée sont donc normales au plan de polarisation.

Cette belle expérience, complément longtemps désiré de celle de Fresnel et Arago, mérite de faire époque dans l'histoire de l'Optique : elle renverse définitivement les théories qui placent la vibration dans le plan de polarisation de la lumière, comme celle de Mac-Cullagh et Neumann; par contre, elle confirme d'une manière éclatante les idées de Fresnel et de ses disciples, notamment dans toutes les conséquences relatives à la double réfraction, à l'aberration, à la constitution de l'éther dans les milieux isotropes ou cristallisés.

Elle précise par un fait palpable le caractère dynamique de la vibration lumineuse, qui commençait à passer, dans l'esprit de certains géomètres, pour une conception abstraite, pour une entité symbolique indifféremment réductible à des équivalences cinématiques très diverses.

En présence de ce fait, où l'expérimentateur dirige à son gré l'action mécanique de la vibration lumineuse comme celle de la vibration sonore, on ne peut plus affirmer que la vibration optique soit une simple abstraction géométrique et que nos connaissances sur sa nature se réduisent à dire que c'est un *vecteur*.

On conçoit qu'il puisse rester d'autres interprétations de l'oscillation lumineuse, mais le champ des équivalences acceptables se trouve maintenant singulièrement réduit. (Cornu, *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. CXII, p. 186.)

CHAPITRE III

MALUS

La polarisation de la lumière.

Aux phénomènes lumineux connus de son temps [1], Huyghens en ajouta un autre jusqu'alors inconnu, le phénomène de la *polarisation*, qu'il découvrit en étudiant la double réfraction. Il plaça deux rhomboèdres de spath l'un à la suite de l'autre de façon que la lumière les traversât tous deux successivement.

Il observa alors le phénomène suivant : lorsque les deux rhomboèdres avaient leurs faces parallèles, par conséquent lorsque leurs sections principales [2] étaient parallèles, les rayons qui sortaient du premier rhomboèdre traversaient le second sans être modifiés; le rayon ordinaire *o* dans le

1. Poggendorff en compte six : la *réflexion*, la *réfraction*, connues des anciens; la *dispersion*, constatée nettement pour la première fois par *Grimaldi* en 1665, et étudiée par *Newton*; la *diffraction* ou *inflexion*, découverte et décrite par *Grimaldi* en 1665; les *couleurs des lames minces* ou *Anneaux de Newton*, découvertes par Hooke en 1665, étudiées par Newton; la *double réfraction*, découverte par *Erasme Barthölin* en 1669, étudiée par Huyghens. — J. G.

2. La section principale est le plan qui passe par la petite diagonale de l'une des faces du rhomboèdre et par le côté opposé; ce plan contient l'axe du cristal. Le terme de section principale, *sectio præcipua*, vient de Huyghens, ainsi que les termes de réfraction ordinaire et extraordinaire, *refractio consueta vulgaris* et *refractio insolita*.

premier était encore un rayon ordinaire dans le second, et le rayon extraordinaire *e* restait encore un rayon extraordinaire. Mais lorsque les sections principales étaient rectangulaires l'une à l'autre, le rayon ordinaire *o* dans le premier rhomboèdre devenait extraordinaire *e* dans le second, et le rayon extraordinaire *e* du premier devenait ordinaire *o*, comme on pouvait le reconnaître par les déviations qu'éprouvaient les rayons lumineux lorsqu'on éloignait quelque peu les deux rhomboèdres l'un de l'autre. En donnant aux rhomboèdres une position intermédiaire, chacun des deux rayons du premier rhomboèdre se décomposait en un rayon ordinaire *o* et en un rayon extraordinaire *e*, de sorte qu'en général on obtient quatre images dont l'éclat est différent et change d'ailleurs, lorsqu'on fait tourner les sections principales entre des positions parallèles et perpendiculaires.

Huyghens ne put s'expliquer ce phénomène singulier : il se contenta de le signaler en laissant à l'avenir le soin de l'expliquer. Pendant plus de 130 ans ce fait resta isolé : on y accorda peu d'attention et on l'étudia encore moins. Enfin, en 1810, le colonel d'artillerie *Malus*, un Français, reconnut que la lumière réfléchie sous un certain angle possédait la propriété qu'il nomma *polarisation* : il reconnut bientôt que cette propriété était précisément celle qui donnait lieu aux phénomènes observés par Huyghens dans le spath. (POGGENDORFF, *Histoire de la physique*, traduction de MM. Bibart et de la Quesnerie, Paris, 1883, p. 399.)

MALUS (ÉTIENNE-LOUIS) DU MITRY, auteur d'une des plus importantes découvertes de la physique, celle de la polarisation de la lumière, naquit à Paris, le 23 juin 1775. Élevé avec soin, dans sa famille même, il y reçut une éducation dans laquelle l'étude approfondie des lettres et celle des mathématiques ne se trouvaient point séparées. Par l'heureux effet de cette éducation, qui n'avait laissé aucune de ses facultés oisives, Malus eut le bonheur de

conserver toute sa vie le goût et l'intelligence de ces chefs-d'œuvre de l'antiquité, qui lui avaient fait sentir les premiers plaisirs de l'imagination; et l'ardeur avec laquelle il les avait étudiés, retarda si peu ses progrès dans des études plus austères, qu'à dix-sept ans, en 1792, il fut en état d'être admis par examen à l'École du génie militaire. Ses dispositions tout à fait extraordinaires pour les mathématiques le firent bientôt remarquer; et il allait être fait officier, lorsqu'un ordre du ministre Bouchotte le fit renvoyer comme suspect, probablement parce que son père avait possédé une charge de trésorier de France : tant il était facile alors de paraître assez important pour être proscrit. Cette interdiction lui fermant la carrière du génie, à laquelle il s'était préparé, et pouvant d'ailleurs compromettre sa famille, il se réfugia, comme bien d'autres, dans les rangs de l'armée, fut incorporé dans le quinzième bataillon de Paris, et employé pendant quelque temps, comme simple soldat, aux réparations du port de Dunkerque.

L'ingénieur qui présidait à ces travaux, M. Lepère (son nom ne doit pas échapper à la reconnaissance des amis des sciences), le remarqua; et, lorsque, après la Terreur de 1793, le gouvernement, sur les instances de Monge, fit chercher partout des jeunes gens déjà instruits pour former l'École polytechnique, M. Lepère saisit cette occasion de tirer Malus du rang des soldats, et de l'envoyer à Paris. Monge, qui l'avait déjà connu et jugé à l'École du génie, le mit aussitôt dans le petit nombre de ceux qu'il destinait à devenir les instructeurs des autres élèves, et qu'il se plut à instruire et à préparer lui-même, pendant trois mois, avec un zèle inépuisable. Plusieurs autres savants distingués le secondaient dans cette tâche; et Lagrange même daigna quelquefois la partager. Que l'on se figure vingt jeunes gens, assez instruits déjà pour sentir le prix d'un enseignement pareil; entourés de tous les moyens de travail imaginables; comblés de soins, d'encourage-

ments; tour à tour et continuellement occupés de mathématiques, de dessin, de physique, de chimie; n'ayant enfin à songer qu'au développement de leur intelligence; et cela, dans un temps où nulle autre occasion de s'instruire n'existait plus : on concevra facilement tout ce qu'un pareil concours de circonstances dut exciter en eux d'émulation. La même ardeur se communiqua bientôt après à la nombreuse jeunesse qui vint composer l'École polytechnique, et qui, ayant pu terminer en grande partie ses études littéraires avant la ruine des établissements d'instruction publique, se trouva ainsi singulièrement bien préparée pour recevoir les vérités des sciences. Il est impossible que ceux qui ont assisté à ces premiers cours de l'École polytechnique, n'aient pas conservé un profond souvenir de l'enthousiasme qu'elle présentait, et surtout du spectacle consolant qu'offrait cette élite de la jeunesse, s'empressant de ressaisir avec avidité les trésors de la civilisation et des sciences, qu'une anarchie stupide avait été sur le point d'anéantir dans leur patrie. Aussi n'est-ce pas pour eux que nous rappelons cette époque ineffaçable de leurs jeunes années; mais, dans l'état funeste d'agitation et de révolution qui mine sourdement la vieille Europe, il n'est pas inutile de redire par quels moyens on peut rallumer chez un peuple le flambeau des lumières, lorsque l'anarchie l'a presque éteint.

De tous les élèves admis en même temps que lui à l'École polytechnique, Malus se montra le premier pour l'application, l'intelligence, et les connaissances acquises. Pendant les trois années qu'il y resta, il dévora, plutôt qu'il ne lut, tous les ouvrages de mathématiques les plus difficiles. Il commença même à montrer ses propres forces par d'élégantes applications de l'analyse à des questions de géométrie; et, ce qui mérite d'être remarqué, le plus étendu de ces essais avait pour objet la détermination de la route que suivent les rayons lumineux lorsqu'ils sont réfléchis ou réfractés par des surfaces de courbure quel-

conque. Ainsi, les propriétés de la lumière qui devaient rendre le nom de Malus à jamais célèbre dans les sciences, étaient dès lors l'objet favori de ses secrètes pensées.

En observant les premiers pas des hommes qui se sont spécialement distingués par quelque grande découverte, on reconnaît assez généralement qu'ils semblent y avoir été appelés de loin par leur génie, et avoir été contraints d'y penser toujours. Il n'y a rien au-dessus de cette spécialité, si ce n'est l'extension de la même faculté au système entier d'une science : c'est là ce qui fait les génies du premier ordre, tels que furent, pour ne parler que des morts, les Newton, les Leibnitz, les Euler, les d'Alembert et les Lagrange. Quant à Malus, le temps de développer ces semences précieuses n'était pas encore venu. L'activité infatigable de son esprit, et le peu de fortune que la révolution avait laissé à sa famille, le détournèrent de suivre les sciences comme une carrière; et il rentra dans celle du génie, avec le rang d'ancienneté que lui assignait sa première admission. Il fut aussitôt envoyé à l'armée de Sambre-et-Meuse, et se trouva au passage du Rhin, en 1797, ainsi qu'aux affaires d'Ukratz et d'Altenkirch. Cette même année fut marquée pour lui par un événement plus important que ces batailles. Il vit et aima la fille du chancelier de l'université de Giessen; et il était sur le point de l'épouser, lorsqu'il fut obligé de partir pour l'expédition d'Égypte. Il assista aux batailles de Chebris et des Pyramides, à l'affaire de Jabisk, au siège d'El-Arisch et à celui de Jaffa. Après la prise de cette dernière ville, on le chargea d'en relever les fortifications, et d'y former des hôpitaux militaires. Il y fut attaqué de la peste, et s'en guérit seul, sans le secours de l'art. A peine rétabli, on l'envoya fortifier Damiette. De là, il partit avec l'armée pour marcher au-devant des Turcs, débarqués à Aboukir. Il assista à la bataille d'Héliopolis, à l'affaire de Coraïm, au siège du Caire. Enfin, à l'époque de la capitulation, il fut embarqué sur le parlementaire anglais le *Castor*, et débarqua

en France, le 26 octobre 1801. Épuisé de fatigues, avec une santé pour jamais perdue, il alla retrouver en Allemagne la personne qu'il avait aimée, et qui lui était restée fidèle : il l'épousa; et, pendant les onze années que la vie de Malus put se soutenir, il reçut d'elle des soins dont la continuité et la tendresse allèrent jusqu'à l'héroïsme. Elle ne put lui survivre, et mourut deux ans après lui, en 1814, de la même maladie dont il était mort.

Ce fut pendant ce temps trop court de tranquillité et de bonheur intérieur, que la passion de Malus pour les sciences, n'étant plus combattue par l'activité de sa vie, se développa tout entière. Chargé de constructions importantes, d'abord à Anvers, ensuite à Strasbourg, ces travaux, qui auraient paru pénibles à d'autres, n'étaient qu'un jeu pour lui; de sorte qu'après avoir donné à ses devoirs tout le temps nécessaire pour les bien remplir, il lui restait encore un grand loisir pour ses occupations favorites. Ce fut alors qu'il acheva de rédiger ses essais d'optique ànalytique, qu'il avait commencés à l'École polytechnique, et dont l'élégance prouva, qu'au milieu des hasards de la guerre, il n'avait pas désappris à manier le calcul.

Les phénomènes de la lumière, objet des premières pensées de Malus, revenaient continuellement se présenter à ses méditations. Bientôt un sujet de prix, proposé par la classe des sciences de l'Institut, vint exciter et comme forcer Malus à s'en occuper d'une manière exclusive. On sait que lorsqu'un rayon de lumière simple pénètre obliquement un corps transparent quelconque, il ne continue pas sa route en ligne droite, mais il se plie et se brise à son entrée dans le corps. Ce phénomène se désigne par le nom de réfraction. Maintenant, lorsque le passage du rayon se fait ainsi, de l'air ou du vide, dans un corps dont les parties sont disposées indifféremment et sans ordre, comme celles des liquides, et des corps fondus, il donne naissance à un faisceau réfracté unique; et son change-

ment de direction, ou sa réfraction, est soumis à une loi très simple qui a été assignée par Descartes, dont elle est une des plus belles découvertes. Mais il n'en est plus ainsi lorsque le corps réfringent est composé de parties toutes d'une même forme, arrangées d'une manière déterminée et régulière dans toute sa masse, comme le sont les minéraux que la nature nous présente cristallisés. Alors, si la forme primitive des particules n'est ni un octaèdre régulier ni un cube, chaque rayon lumineux simple qui pénètre le cristal, se divise en deux rayons réfractés, dont l'un suit la loi ordinaire de réfraction assignée par Descartes, et est appelé pour cette raison le *rayon ordinaire*; et l'autre, que l'on nomme *rayon extraordinaire*, suit une autre loi, beaucoup plus composée, que Huyghens avait déterminée pour la chaux carbonatée rhomboïdale, vulgairement nommée *spath d'Islande*; et qui l'a été depuis généralement pour tous les autres cristaux. En outre, ces phénomènes offrent cela de très singulier, que le rayon qui a été réfracté ordinairement ou extraordinairement par un cristal, a contracté, dans cet acte même, certaines modifications relatives à ses pans, modifications qu'il emporte avec lui, et qu'il montre lorsqu'on lui fait traverser un second cristal de même ou de différente nature que le premier : car il y subit la réfraction ordinaire seule, ou l'extraordinaire, ou partiellement l'une et l'autre, selon le sens dans lequel on lui présente les faces de ce second cristal. Cette propriété avait été reconnue par Newton, dans les rayons auxquels on fait successivement traverser deux ou plusieurs rhomboïdes de spath d'Islande : mais, quelque remarquable qu'elle fût en elle-même, elle était restée jusqu'alors comme un fait isolé, dont l'importance avait été peu sentie.

Tel était l'état de cette partie de l'optique physique, lorsqu'en 1808, la classe des sciences de l'Institut proposa, pour sujet de prix, un nouvel examen des phénomènes de la double réfraction. Malus, alors éloigné de

Paris, ne pouvait rester indifférent à un concours qui semblait avoir été choisi exprès pour l'attacher davantage à cette étude de la lumière dont il avait été toujours si passionné. Il fit, pour résoudre la question proposée, un nombre immense d'expériences auxquelles il sut adapter des instruments dont l'exactitude avait jusqu'alors paru exclusivement réservée à l'astronomie. Il remporta le prix; mais ce qui était bien plus important que le prix même, et ce que personne n'aurait espéré, parce que personne ne le soupçonnait, il découvrit que les rayons lumineux, en se réfléchissant sur les surfaces des corps transparents, y prennent aussi, sous un certain angle, des propriétés relatives à leurs pans, et pareilles à celles que la double réfraction leur imprime. La découverte de cette propriété si remarquable, et dont on a développé depuis tant de conséquences, fut amenée sous ses yeux par hasard; mais ce fut un de ces hasards privilégiés qui sont réservés aux hommes de génie, parce qu'eux seuls ont l'inspiration qui les fait voir et saisir.

Continuellement occupé de la double réfraction, Malus, alors à Paris, et demeurant dans la rue d'Enfer, regardait un soir, à travers un de ses prismes de cristal, le palais du Luxembourg, sur les fenêtres duquel les rayons du soleil couchant se réfléchissaient avec une grande vivacité. En tournant, sans y penser, son prisme entre ses doigts, comme il avait accoutumé de le faire sans cesse pour ses observations, il s'aperçut que, pendant les diverses phases de ce mouvement, l'une des deux images transmises éprouvait des variations dans son intensité; ce qui ne serait certainement point arrivé s'il eût regardé ainsi une lumière directe, celle d'une bougie, par exemple. Frappé de cette propriété inattendue, il s'imagina d'abord que les couches d'air qui composent l'atmosphère formaient comme une sorte de cristal par la régularité de cette superposition, et que c'était là ce qui imprimait ces propriétés à la lumière. Mais le lendemain, en voyant de

nouveau le même phénomène, il reconnut qu'il n'avait lieu complètement que sous une certaine inclinaison du rayon, par rapport aux surfaces réfléchissantes : c'était donc l'inclinaison du rayon sur la surface qui le produisait. Il calcula cette inclinaison, d'après la position où le soleil avait dû se trouver à l'heure où il avait fait sa découverte; et il arriva ainsi à réaliser le même phénomène avec toute sorte de lumière, et sur des substances diaphanes quelconques. Cette disposition de la lumière à subir une seule réfraction, quand elle traverse dans certains sens les corps qui exercent sur la lumière directe la réfraction double, constitue la propriété que Malus appela depuis « la polarisation de la lumière »; et il la désigna de cette manière, parce que, étant commune à toutes les particules lumineuses qui composent un même rayon ainsi préparé, et étant relative aux pans de ce rayon, elle semblait indiquer une même modification imprimée à toutes ses particules, laquelle les rend également susceptibles de céder ou de résister à l'action de certaines forces que l'on fait agir sur elles. C'est ainsi que l'on concevrait une file d'aiguilles aimantées, toutes égales entre elles, placées à la suite les unes des autres dans le méridien magnétique à des distances assez grandes pour que leur action mutuelle fût insensible. Car ces aiguilles, maîtrisées par la force magnétique de la terre, se trouveraient toutes dans une même direction, qui serait celle du méridien magnétique; et si l'on agissait sur une quelconque d'entre elles, au moyen de quelque autre force, de manière à la détourner plus ou moins de la direction commune, toutes les autres, soumises aussi successivement ou ensemble à des forces pareilles, éprouveraient d'égales déviations.

D'après ce que nous avons vu du caractère de Malus, on conçoit s'il dut développer avec ardeur les conséquences et les analogies d'une découverte si remarquable : il les fit succéder les unes aux autres avec une rapidité dont la

physique n'avait pas offert d'exemple, depuis les premières découvertes des physiciens du dernier siècle sur les phénomènes, alors si nouveaux, de l'électricité. Il trouva ainsi, presque dès les premiers moments, que l'on pouvait ôter à un rayon la propriété de se réfléchir sur les surfaces diaphanes, en le polarisant dans un certain sens, par rapport à leur direction; mais, qu'en changeant le sens de la polarisation, le rayon reprenait la propriété de se réfléchir. Il détermina le mode de polarisation que les rayons éprouvent dans les cristaux à un seul axe, soit que ces rayons vinssent du dehors et fussent réfractés par le cristal, soit que, après avoir été introduits dans sa substance, ils y éprouvassent des réflexions intérieures. Rapprochant la polarisation ainsi imprimée à la lumière par les cristaux, de celle que lui donnait la réflexion sur les surfaces polies des corps diaphanes, il montra que la nature de ces deux modifications était absolument identique; et il fixa les rapports de position qui liaient ensemble les sens de la polarité imprimée aux rayons par l'un ou l'autre procédé. Ces résultats l'ayant naturellement conduit à étudier, sous le même point de vue, les effets de la réfraction ordinaire, il trouva qu'elle avait aussi le pouvoir de polariser les rayons comme la réflexion et la réfraction extraordinaire, mais avec cette différence qu'il n'y avait, dans chaque réfraction de ce genre, qu'une certaine proportion de la lumière transmise, qui subît la polarisation. Par des expériences conduites avec beaucoup d'art, il détermina cette proportion, de même que le sens de la polarisation ainsi imprimée. Enfin, en transmettant des rayons polarisés à travers toutes les parties des corps organisés, animaux ou végétaux, dont il pût extraire des lames suffisamment minces pour qu'elles acquissent quelque transparence, il observa que toutes ces parties modifiaient le sens de la polarisation primitivement imprimée aux rayons, et qu'elles la tournaient relativement à certaines lignes, fixes dans leur substance; de sorte que ces lignes semblaient

être comme des axes autour desquels le pouvoir de l'organisation avait groupé les particules qui les composaient.

.... La première annonce de sa découverte eut un éclat extraordinaire : non seulement l'Institut l'admit bientôt au nombre de ses membres; mais, malgré l'état de guerre qui existait entre l'Angleterre et la France, la Société Royale de Londres lui décerna une médaille d'or; sorte d'hommage qui, dans de telles circonstances, avait, par son indépendance, quelque chose de pareil à celui de la postérité.

La justice qu'on rendit ainsi à Malus, cette justice si pleine, si entière, de laquelle ont joui bien peu d'hommes célèbres par de grandes découvertes, ne fit que l'enflammer davantage. Il continuait à suivre ses belles recherches avec un zèle infatigable, avec une sagacité merveilleuse. Cependant, ce plaisir d'invention, qui devait être extrême pour lui, ne suspendit jamais un seul instant les devoirs qu'il avait contractés, soit au comité des fortifications où il avait été appelé, soit à l'École polytechnique, où il avait été nommé examinateur pour la physique et la géométrie descriptive. On se rappelle encore avec douleur cette séance où, pour la dernière fois, déjà consumé par la maladie, il voulut encore remplir, et remplit en effet, ces fonctions pénibles, avec tout le feu de la jeunesse, avec toute la force qu'il ne pouvait puiser que dans son âme; car son corps n'en avait déjà plus. Il allait être appelé à diriger les études de cette École polytechnique qu'il avait tant chérie, dont il connaissait si bien le but et les avantages; qu'il aurait si aisément gouvernée par le seul frein du respect et de l'honneur, et qui, frappée de sa perte, n'a pu que venir pleurer sur son cercueil. Entouré de l'estime publique qu'il méritait, d'amis nombreux qui appréciaient son génie et aimaient sa personne, comblé des soins d'une excellente épouse, honoré de places éminentes auxquelles ses talents, ses services et sa probité l'avaient conduit; déjà célèbre depuis quatre ans par de

grandes découvertes dans les sciences, voyant s'ouvrir devant lui une vaste carrière de travaux et de gloire, près d'arriver enfin au terme de tous ses vœux, de tous ses désirs, il meurt avant sa trente-septième année; et les sciences désolées ont vu s'éteindre en lui cette flamme du génie qui allait les éclairer. Malus a terminé sa vie le 23 février 1812. (Biot, *Mélanges scientifi. et littéraires*, t. III, p. 105.)

Nous terminerons ces citations relatives à l'Optique par quelques passages de Laplace sur le phénomène de l'aberration et sur la vitesse de la lumière, empruntés à son *Exposition du système du monde.*

CHAPITRE IV

LA VITESSE DE LA LUMIÈRE

Le mouvement de la terre. — L'aberration.

Transportons-nous par la pensée à la surface du soleil, et de là contemplons la terre et les planètes. Tous ces corps nous paraîtront se mouvoir d'occident en orient, et déjà cette identité de direction est un indice du mouvement de la terre; mais ce qui le démontre avec évidence, c'est la loi qui existe entre les temps des révolutions des planètes, et leurs distances au soleil. Elles circulent autour de lui avec d'autant plus de lenteur, qu'elles en sont plus éloignées; de manière que les carrés des temps de leurs révolutions sont comme les cubes de leurs moyennes distances à cet astre. Suivant cette loi remarquable, la durée de la révolution de la terre supposée en mouvement autour du soleil, doit être exactement celle de l'année sidérale. N'est-ce pas une preuve incontestable que la terre se meut comme toutes les planètes, et qu'elle est assujettie aux mêmes lois? D'ailleurs ne serait-il pas bizarre de supposer le globe terrestre, à peine sensible vu du soleil, immobile au milieu des planètes en mouvement autour de cet astre qui, lui-même, serait emporté avec elles autour de la terre? La force qui, pour retenir les planètes dans leurs orbes respectifs autour du soleil, balance leur force centrifuge, ne doit-elle pas agir

également sur la terre, et ne faut-il pas que la terre oppose à cette action la même force centrifuge? Ainsi la considération des mouvements planétaires observés du soleil, ne laisse aucun doute sur le mouvement réel de la terre. Mais l'observateur placé sur elle a, de plus, une preuve sensible de ce mouvement, dans le phénomène de l'aberration qui en est une suite nécessaire : c'est ce que nous allons développer.

Sur la fin du dernier siècle, Roëmer observa que les éclipses des satellites de Jupiter avancent vers les oppositions de cette planète, et retardent vers ses conjonctions, ce qui lui fit soupçonner que la lumière ne se transmet pas dans le même instant de ces astres à la terre, et qu'elle emploie un intervalle de temps sensible à parcourir le diamètre de l'orbe du soleil. En effet, Jupiter dans ses oppositions, étant plus près de nous que dans ses conjonctions, d'une quantité égale à ce diamètre, les éclipses doivent arriver pour nous plus tôt dans le premier cas que dans le second, de tout le temps que la lumière met à traverser l'orbe solaire. La loi des retards observés de ces éclipses répond si exactement à cette hypothèse, qu'il n'est pas possible de s'y refuser. Il en résulte que la lumière emploie 571″ à venir du soleil à la terre.

Présentement, un observateur immobile verrait les astres suivant la direction de leurs rayons; mais il n'en est pas ainsi dans la supposition où il se meut avec la terre. Pour ramener ce cas à celui de l'observateur en repos, il suffit de transporter en sens contraire aux astres, à leur lumière, et à l'observateur lui-même, le mouvement dont il est animé, ce qui ne change point la position apparente des astres, car c'est une loi générale d'optique, que si l'on imprime un mouvement commun à tous les corps d'un système, il n'en résulte aucun changement dans leur situation apparente. Concevons donc qu'au moment où un rayon lumineux va pénétrer dans l'atmosphère terrestre, on lui donne, ainsi qu'à l'air et à la terre,

un mouvement égal et contraire à celui de l'observateur, et voyons quels phénomènes ce mouvement doit produire dans la position apparente de l'astre dont le rayon émane. On peut faire abstraction du mouvement de rotation de la terre, environ soixante fois moindre à l'équateur même que celui de la terre autour du soleil : on peut encore supposer ici, sans erreur sensible, tous les ayons lumineux que chaque point du disque d'un astre nous envoie, parallèles entre eux et au rayon qui parviendrait du centre de l'astre à celui de la terre si elle était transparente. Ainsi les phénomènes que les astres présenteraient à un observateur placé à ce dernier centre, et qui dépendent du mouvement de la lumière, combiné avec celui de la terre, sont à très peu près les mêmes pour tous les observateurs répandus à sa surface. Enfin nous ferons abstraction de la petite excentricité de l'orbe terrestre. Cela posé :

Dans l'intervalle de 571″, que la lumière emploie à parcourir le rayon de l'orbe terrestre, la terre décrit un petit arc de cet orbe égal à 62″,5; or il suit des lois de la composition des mouvements, que si, par le centre d'une étoile, on imagine une petite circonférence parallèle à l'écliptique, et dont le diamètre sous-tende dans le ciel un arc de 125″; la direction du mouvement de la lumière, lorsqu'on le compose avec le mouvement de la terre, appliqué en sens contraire, rencontre cette circonférence au point où elle est coupée par un plan mené par les centres de l'étoile et de la terre, tangentiellement à l'orbe terrestre; l'étoile doit donc paraître se mouvoir sur cette circonférence, et la décrire, chaque année, de manière qu'elle y soit constamment moins avancée de cent degrés que le soleil dans son orbite apparente.

Ce phénomène est exactement celui que nous avons expliqué dans le onzième chapitre du premier livre, d'après les observations de Bradley, à qui l'on doit sa découverte et celle de sa cause. Pour rapporter les étoiles à leur vraie position, il suffit de les placer au centre de la

petite circonférence qu'elles nous semblent décrire; leur mouvement annuel n'est donc qu'une illusion produite par la combinaison du mouvement de la lumière avec celui de la terre. Ses rapports avec la position du soleil pouvaient faire soupçonner qu'il n'est qu'apparent; mais l'explication précédente le prouve avec évidence. Elle fournit en même temps une démonstration sensible du mouvement de la terre autour du soleil; de même que l'accroissement des degrés et de la pesanteur, en allant de l'équateur aux pôles, rend sensible son mouvement de rotation.

L'aberration de la lumière affecte les positions du soleil, des planètes, des satellites et des comètes; mais d'une manière différente à raison de leurs mouvements particuliers. Pour les en dépouiller, et pour avoir la vraie position des astres, imprimons à chaque instant à tous les corps un mouvement égal et contraire à celui de la terre qui par là devient immobile; ce qui, comme nous l'avons dit, ne change ni leurs positions respectives, ni leurs apparences. Alors il est visible qu'un astre, au moment où nous l'observons, n'est plus sur la direction du rayon lumineux qui vient frapper notre vue; il s'en est éloigné en vertu de son mouvement réel combiné avec celui de la terre, qu'on lui suppose transporté en sens contraire. La combinaison de ces deux mouvements, observés de la terre, forme le mouvement apparent que l'on nomme *mouvement géocentrique*. On aura donc la véritable position de l'astre, en ajoutant à sa longitude et à sa latitude géocentriques observées, son mouvement géocentrique en longitude et en latitude, dans l'intervalle de temps que la lumière emploie à parvenir de l'astre à la terre. Ainsi le centre du soleil nous paraît constamment moins avancé de 62",5 dans son orbe, que si la lumière nous parvenait dans un instant.

L'aberration change les rapports apparents des phénomènes célestes soit avec l'espace, soit avec la durée. Au moment où nous les voyons encore, ils ne sont déjà plus;

il y a vingt-cinq ou trente minutes que les satellites de Jupiter ont cessé d'être éclipsés, quand nous apercevons la fin de leurs éclipses; et les variations des étoiles changeantes précèdent de plusieurs années, les instants de leurs observations. Mais toutes ces causes d'illusion étant bien connues, nous pouvons toujours rapporter les phénomènes du système solaire à leur vrai lieu et à leur véritable époque.

La considération des mouvements célestes nous conduit donc à déplacer la terre, du centre du monde, où nous la supposions, trompés par les apparences et par le penchant qui porte l'homme à se regarder comme le principal objet de la nature. Le globe qu'il habite est une planète en mouvement sur elle-même et autour du soleil. En l'envisageant sous cet aspect, tous les phénomènes s'expliquent de la manière la plus simple; les lois des mouvements célestes sont uniformes; toutes les analogies sont observées. Ainsi que Jupiter, Saturne et Uranus, la terre est accompagnée d'un satellite : elle tourne sur elle-même, comme Vénus, Mars, Jupiter, Saturne et probablement toutes les autres planètes : elle emprunte comme elles sa lumière du soleil, et se meut autour de lui dans le même sens et suivant les mêmes lois. Enfin, la pensée du mouvement de la terre réunit en sa faveur la simplicité, l'analogie, et généralement tout ce qui caractérise le vrai système de la nature. Nous verrons en la suivant dans ses conséquences, les phénomènes célestes ramenés, jusque dans leurs plus petits détails, à une seule loi dont ils sont les développements nécessaires. Le mouvement de la terre acquerra ainsi toute la certitude dont les vérités physiques sont susceptibles, et qui peut résulter, soit du grand nombre et de la variété des phénomènes expliqués, soit de la simplicité des lois dont on les fait dépendre. Aucune branche des sciences naturelles ne réunit à un plus haut degré ces avantages que la théorie du système du monde, fondée sur le mouvement de la terre.

Ce mouvement agrandit l'univers à nos yeux : il nous donne pour mesurer les distances des corps célestes, une base immense, le diamètre de l'orbe terrestre. C'est par son moyen que l'on a exactement déterminé les dimensions des orbes planétaires. Ainsi le mouvement de la terre, qui, par les illusions dont il est cause, a pendant longtemps retardé la connaissance des mouvements réels des planètes, nous les a fait connaître ensuite avec plus de précision que si nous eussions été placés au foyer de ces mouvements. Cependant, la parallaxe annuelle des étoiles, ou l'angle sous lequel on verrait de leur centre le diamètre de l'orbe terrestre, est insensible et ne s'élève pas à six secondes, même relativement aux étoiles qui, par leur vif éclat, semblent être le plus près de la terre; elles en sont donc au moins deux cent mille fois plus éloignées que le soleil. Une aussi prodigieuse distance jointe à leur vive clarté, nous prouve évidemment qu'elles n'empruntent point, comme les planètes et les satellites, leur lumière, du soleil, mais qu'elles brillent de leur propre lumière; en sorte qu'elles sont autant de soleils répandus dans l'immensité de l'espace, et qui, semblables au nôtre, peuvent être les foyers d'autant de systèmes planétaires. Il suffit, en effet, de nous placer sur le plus voisin de ces astres, pour ne voir le soleil que comme un astre lumineux dont le diamètre apparent serait au-dessous d'un trentième de seconde.

Il résulte de l'immense distance des étoiles, que leurs mouvements en ascension droite et en déclinaison ne sont que des apparences produites par le mouvement de l'axe de rotation de la terre. Mais quelques étoiles paraissent avoir des mouvements propres, et il est vraisemblable qu'elles sont toutes en mouvement, ainsi que le soleil qui transporte avec lui dans l'espace le système entier des planètes et des comètes; de même que chaque planète entraîne ses satellites dans son mouvement autour du soleil. (LAPLACE, *Exposition du système du monde*, t. I, p. 205.)

LIVRE IV

LE MAGNÉTISME ET L'ÉLECTRICITÉ

CHAPITRE I

LA BOUSSOLE

L'origine de la boussole.

Le premier auteur européen chez lequel se trouve une mention explicite de l'aiguille aimantée, est *Guyot de Provins*; il en fait mention dans une pièce satirique qui, selon l'opinion de M. Paulin Pâris, date de 1190 environ. Guyot, après y avoir déclamé contre tous les États, invective aussi contre la cour de Rome. Le pape, selon lui, devrait être pour tous les fidèles ce qu'est, pour les matelots, la *Trémontaigne* (l'étoile polaire), sur laquelle ils ont toujours les yeux fixés quand ils sont en mer. Les autres étoiles, dit-il, tournent et circulent sans cesse dans le ciel; elle seule est invariable, et les guide sûrement. Je fais suivre ici ce morceau de Guyot de Provins, que M. Paulin Pâris a bien voulu extraire de plusieurs manuscrits de la Bibliothèque royale; mais je dois remarquer auparavant que cet auteur parle de l'aiguille aimantée, non pas comme d'une invention récente, mais comme d'une chose déjà suffisamment connue de son temps. (Extrait d'une *Lettre à M. le baron de Humboldt sur l'In-*

vention de la Boussole, par KLAPROTH. Paris, 1834, in-8, p. 41.)

Voici les vers de Guyot de Provins :

De notre père l'*apostoile* [1]
Vousisse [2] qu'il semblast l'étoile
Qui ne se meut; *mout* [3] bien la voient,
Li marinier que *si navoient* [4].
Par cele estoile vont et vienent
Et lor sens et lor voie tienent;
Ils l'appellent la *tresmontaigne* [5],
Cele est atachie et certaine :
Toutes les autres se removent,
Et lor leus eschangent et muevent;
Mais cele estoile ne se meut.
Un art font qui mentir ne peut,
Par la vertu de l'*amanière* [6].
Une pierre laide et brunière,
Où li fers volontiers se joint,
Ont; si esgardent le droit point,
Puis qu'une aguile l'ait touchie
Et en un festu l'ont fichie
En l'aigue la mettent sans plus,
Et li festus la tient desus;
Puis se torne la pointe toute
Contre l'estoile, *si sans doute* [7]
Que jà por rien ne faussera
Et mariniers nul ne doutera.
Quant la mers est obscure et brune,
Qu'on ne voit estoile né lune,

1. Le pape. — P. P.
2. Je voudrais.
3. Beaucoup.
4. Ainsi naviguent. — P. P.
5. L'étoile polaire. — P. P.
6. La pierre d'aimant. — P. P.
7. D'une manière si peu douteuse. — P. P.

Dont font à l'aiguille alumer [1];
Puis, n'ont-ils garde d'esgarer.
Contre l'estoile va la pointe,
Por ce [2], sont li marinier *cointe* [3]
De la droite voie tenir,
C'est un ars qui ne peut fallir.
Mout est l'estoile bele et clère;
Tex devroit estre nostre père.

1. Alors les mariniers placent une lumière près de l'aiguille. — P. P.
2. Pour cela.
3. Assurés.

CHAPITRE II

L'ÉLECTRICITÉ STATIQUE

Électricité atmosphérique.

Le Dr Wall, qui écrivait en 1708, doit être nommé ici le premier, car on trouve dans un de ses Mémoires cette ingénieuse réflexion : « La lumière et le craquement des corps électrisés semblent, *jusqu'à un certain point*, représenter l'éclair et le tonnerre ». Stephen Grey publiait, à la date de 1735, une remarque analogue. « Il est probable, disait cet illustre physicien, qu'avec le temps on trouvera les moyens de concentrer de plus abondantes quantités de feu électrique, et d'augmenter la force d'un agent qui, d'après plusieurs de mes expériences, s'il est permis de comparer les grandes aux petites choses, paraît être de la même nature que le tonnerre et les éclairs. »

La plupart des physiciens n'ont vu dans ces passages que de simples comparaisons. Ils ne croient pas qu'en assimilant les effets de l'électricité à ceux du tonnerre, Wall et Grey aient prétendu en conclure l'identité des causes. Ce doute, au surplus, ne serait pas applicable aux aperçus insérés par Nollet, en 1746, dans ses Leçons de physique expérimentale. Là, en effet, suivant l'auteur, une nuée orageuse, au-dessus des objets terrestres, n'est autre chose qu'un corps électrisé placé en présence de

corps qui ne le sont pas. *Le tonnerre, entre les mains de la nature, c'est l'électricité entre les mains des physiciens.* Plusieurs similitudes d'action sont signalées; rien ne manque, en un mot, à cette ingénieuse théorie, si ce n'est la seule chose dont une théorie ne saurait se passer pour prendre définitivement place dans la science, la sanction d'expériences directes.

Les premières vues de Franklin sur l'analogie de l'électricité et du tonnerre n'étaient, comme les idées antérieures de Nollet, que de simples conjectures. Toute la différence, entre les deux physiciens, se réduisait alors à un projet d'expérience, dont Nollet n'avait pas parlé, et qui semblait promettre des arguments définitifs pour ou contre l'hypothèse. Dans cette expérience, on devait, par un temps d'orage, rechercher si une tige métallique isolée et terminée par une pointe ne donnerait pas des étincelles analogues à celles qui se détachent du conducteur de la machine électrique ordinaire.

Sans porter atteinte à la gloire de Franklin, je dois remarquer que l'expérience proposée était presque inutile. Les soldats de la cinquième légion romaine l'avaient déjà faite pendant la guerre d'Afrique, le jour où, comme César le rapporte, le fer de tous les javelots parut en feu à la suite d'un orage. Il en est de même des nombreux navigateurs à qui *Castor et Pollux* s'étaient montrés, soit aux pointes métalliques des mâts ou des vergues, soit sur d'autres parties saillantes de leurs navires. Enfin, dans certaines contrées, en Frioul, par exemple, au château de Duino, le factionnaire exécutait strictement ce que désirait Franklin, lorsque, conformément à sa consigne, et dans la vue de décider quand il fallait, en mettant une cloche en branle, avertir les campagnards de l'approche d'un orage, il allait examiner avec sa hallebarde si le fer d'une pique plantée verticalement sur le rempart donnait des étincelles. Au reste, soit que plusieurs de ces circonstances fussent ignorées, soit qu'on ne les trouvât pas

démonstratives, des essais directs semblèrent nécessaires, et c'est à Dalibard, notre compatriote, que la science en a été redevable. Le 10 mai 1752, pendant un orage, la grande tige de métal pointue qu'il avait établie dans un jardin de Marly-la-Ville, donnait de petites étincelles, comme le fait le conducteur de la machine électrique ordinaire quand on en approche un fil de fer. Franklin ne réalisa cette même expérience aux États-Unis, à l'aide d'un cerf-volant, qu'un mois plus tard. Les paratonnerres en étaient la conséquence immédiate. L'illustre physicien d'Amérique s'empressa de le proclamer.

La partie du public qui, en matière de science, est réduite à juger sur parole, ne se prononce presque jamais à demi. Elle admet ou rejette, qu'on me passe ce terme, avec emportement. Les paratonnerres, par exemple, devinrent l'objet d'un véritable enthousiasme dont il est curieux de suivre les élans dans les écrits de l'époque. Ici, vous trouvez des voyageurs qui, en rase campagne, croient conjurer la foudre en mettant l'épée à la main contre les nuages, dans la posture d'Ajax menaçant les dieux; là, des gens d'Église, à qui leur costume interdit l'épée, regrettent amèrement d'être privés de ce talisman conservateur; celui-ci propose sérieusement, comme un préservatif infaillible, de se placer sous une gouttière, dès le début de l'orage, attendu que les étoffes mouillées sont d'excellents conducteurs de l'électricité; celui-là invente certaines coiffures d'où pendent de longues chaînes métalliques qu'il faut avoir grand soin de laisser constamment traîner dans le ruisseau, etc., etc. Quelques physiciens, il faut le dire, ne partageaient pas cet engouement. Ils admettaient l'identité de la foudre et du fluide électrique, l'expérience de Marly-la-Ville ayant à cet égard prononcé définitivement; mais les rares étincelles qui étaient sorties de la tige et leur petitesse faisaient douter qu'on pût épuiser ainsi l'immense quantité de matière fulminante dont une nuée orageuse doit être chargée. Les

effrayantes expériences faites par Romas de Nérac ne vainquirent pas leur opposition, parce que cet observateur s'était servi d'un cerf-volant à corde métallique qui allait, à plusieurs centaines de pieds de hauteur, puiser le tonnerre dans la région même des nuages. Bientôt, cependant, la mort déplorable de Richman[1], occasionnée par la simple décharge provenant de la barre isolée du paratonnerre ordinaire que ce physicien distingué avait fait établir sur sa maison de Saint-Pétersbourg, vint fournir de nouvelles lumières. Les érudits virent dans cette fin tragique l'explication du passage où Pline le naturaliste rapporte que Tullus Hostilius fut foudroyé pour avoir mis peu d'exactitude dans l'accomplissement des cérémonies à l'aide desquelles Numa, son prédécesseur, forçait le tonnerre à descendre du ciel. D'autre part, et ceci avait plus d'importance, les physiciens sans prévention trouvèrent dans le même événement une donnée qui leur manquait encore, savoir qu'en certaines circonstances, une barre de métal peu élevée arrache aux nuées orageuses, non pas seulement d'imperceptibles étincelles, mais de véritables torrents d'électricité. Aussi, à partir de cette époque, les discussions relatives à l'efficacité des paratonnerres n'ont eu aucun intérêt. Je n'en excepte même pas le vif débat sur les paratonnerres terminés en pointe ou en boule, qui divisa quelque temps les savants anglais. Personne, en effet, n'ignore aujourd'hui que George III était le promoteur de cette polémique; qu'il se déclara pour les paratonnerres en boule, parce que Franklin, alors son heureux antagoniste sur des questions politiques d'une immense importance, demandait qu'on les terminât en pointe, et que cette discussion, tout bien considéré, appartient plutôt, comme très petit incident, à l'histoire de la révolution américaine qu'à celle de la science. (ARAGO, *Notices biographiques*, t. I, p. 197.)

1. Le 6 août 1753.

Franklin [1] fit connaître ses expériences et ses idées sur le pouvoir des pointes dans une série de lettres à P. Collinson. Ces lettres eurent en Europe un prodigieux succès. Elles furent traduites en français par Dalibard, sur l'invitation de Buffon. L'ouvrage parut en 1752, en un volume in-12, sous ce titre : *Expériences et observations sur l'électricité, faites à Philadelphie en Amérique par M. Benjamin Franklin, et communiquées dans plusieurs lettres à M. P. Collinson de la Société Royale de Londres. — Traduites de l'anglais. — Avec approbation et privilège du Roy.* L'ouvrage est précédé d'un avertissement et d'un court historique de l'électricité, écrit en partie par Dalibard, et emprunté, pour le reste, à une dissertation faite en 1748 pour l'Académie de Bordeaux, par M. de Secondat, fils de Montesquieu. La publication de ce livre répandit promptement en France les idées de Franklin sur l'électricité.

La bouteille de Leyde.

L'année 1746 est l'époque la plus marquée de l'électricité. Ce fut au commencement de cette année que M. Musschenbroek, illustre citoyen de Leyde, communiqua à l'Académie royale des sciences de Paris l'expérience suivante que le hazard avait fait trouver à M. Cunéus, lorsqu'il s'amusait à revoir chez lui les phénomènes électriques, qu'il avait admirés chez M. Musschenbroek. Suspendez sur des cordons de soie, dans une situation horizontale, une verge de fer ou un canon de fusil, dont un des bouts soit près du globe, pour en recevoir l'électricité par communication : laissez pendre à son autre bout un fil d'archal ou de laiton : pendant qu'on électrise la verge de fer, tenez

1. *Benjamin Franklin*, né à Boston en 1706, s'éleva à force d'intelligence, de travail et d'économie aux premières positions dans son pays; il prit une part active aux travaux du congrès qui proclama l'indépendance des États-Unis. Envoyé en France, il y obtint de Louis XVI un traité avantageux et des secours de tout genre (1778); après plusieurs années passées en France au milieu d'une immense popularité, il revint en Amérique et mourut en 1790. — J. G.

d'une main un vase de verre rond et en partie plein d'eau dans lequel plonge le fil de métal suspendu : avec l'autre main, essayez d'exciter une étincelle à tel endroit que vous voudrez de la verge de fer ou du fil de métal qui pend au bout et qui plonge dans l'eau du vase; vous ressentirez une commotion très forte et très subite dans les

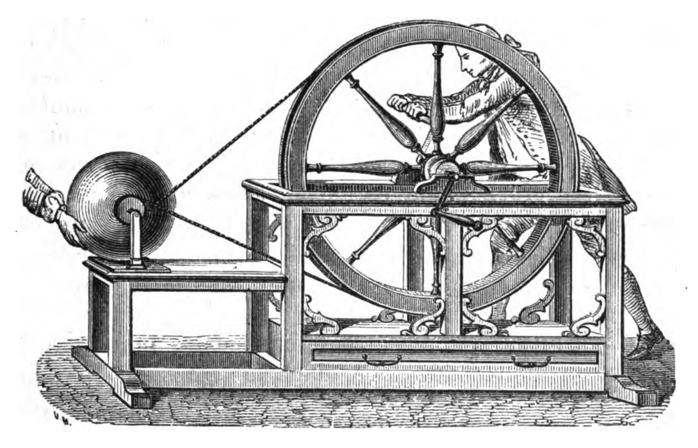


Fig. 16. — La machine électrique au XVIIIe siècle.

deux bras, dans la poitrine et dans tout le corps. Le coup est plus fort quand le globe est plus gros, plus frotté, quand le vase qui contient l'eau est plus large, quand la verge de fer qui conduit l'électricité est plus grande, en sorte qu'on pourrait blesser, peut-être même tuer quelqu'un qui s'y exposerait imprudemment.

Le bruit de cette expérience se répandit bientôt dans tout le monde savant : elle exerça l'industrie des physiciens, et tout le monde voulut être physicien. Chacun la répéta et fit tout son possible pour y ajouter. On trouva bientôt le moyen d'en rendre l'appareil plus simple et plus commode; au lieu de suspendre la verge de fer près du globe et à la même hauteur, on la tient plus élevée,

et on laisse pendre de son extrémité voisine du globe, une bande de métal bien mince, ou un fil de fer qui touche l'équateur du globe, pendant qu'il tourne sur son axe, et qu'il est frotté. La verge s'électrise aussi promptement et aussi fortement par cette méthode que par celle de M. Musschenbroek, et le globe est plus en sûreté.

On se sert d'une bouteille de verre mince et ronde, comme une bouteille de médecine : on la remplit d'eau jusqu'au collet, et on la bouche d'un bouchon de liège traversé d'un fil d'archal, qui y reste fixé de telle manière qu'une partie de ce fil d'archal est plongée dans l'eau de la bouteille, et une autre partie est au-dessus du bouchon, courbé en crochet. Par ce moyen, on peut suspendre la bouteille à la verge de fer, en l'y accrochant, ou l'en séparer à volonté, quand elle est chargée d'électricité.... On peut aussi l'électriser à la main, sans la suspendre à la verge de fer, et même sans se servir de cette verge. Il ne s'agit que d'en présenter le crochet ou auprès de la verge, ou auprès du globe, dans le temps qu'il est en mouvement et qu'il est frotté.... On peut de même décharger la bouteille électrisée, sans le secours de la verge de fer, en tenant la bouteille dans une main, et cela de trois manières, par l'expérience de Leyde, par l'approche d'un corps non électrique[1], ou par l'opposition d'une pointe non électrique. Dans le premier cas, il ne faut que tirer une étincelle du fil d'archal avec l'autre main : l'on reçoit la commotion, et la bouteille est déchargée à l'instant; dans le second, l'on approche le fil d'archal d'un corps non électrique pour tirer l'étincelle : mais il faut avoir attention à ne pas tenir ce corps de l'autre main, car on serait frappé; dans le troisième cas, il ne s'agit que d'opposer à quelques pouces de distance du crochet, une pointe de métal, comme celle d'une aiguille, d'un poinçon, etc., la bouteille se déchargera lente-

1. C'est-à-dire *conducteur*.

ment et insensiblement, sans bruit, sans explosion et sans commotion. On voit dans les temps favorables, la pointe d'une aiguille tirer le feu électrique à plus de six pieds de la bouteille, et cela s'aperçoit par une aigrette lumineuse qui paraît dans l'obscurité à la pointe de l'aiguille.

Quand la bouteille, préparée comme on vient de le dire, est bien électrisée, on peut la transporter fort loin,

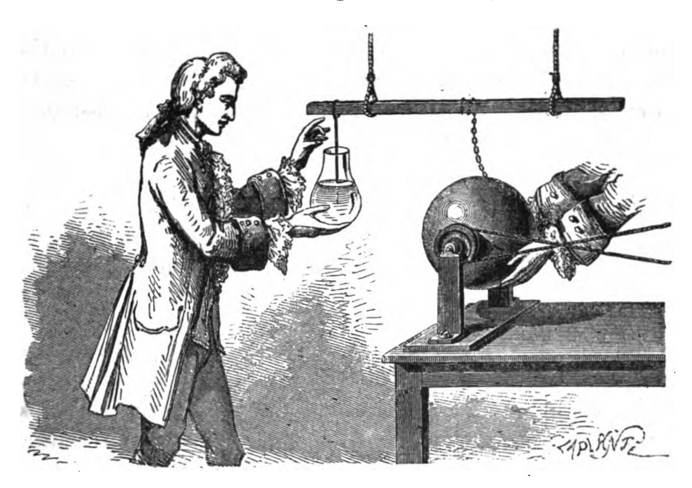


Fig. 17. — L'expérience de Leyde.

ou la garder plusieurs jours dans cet état, sans qu'elle perde beaucoup de sa force électrique; il n'y a point d'autre précaution à prendre que de la déposer sur un corps électrique [1], dans un endroit qui ne soit pas trop exposé à l'humidité de l'air ou à la poussière.

L'on a trouvé ensuite que, dans l'expérience de Leyde, si, au lieu d'une seule personne, on forme un grand cercle ou une chaîne de plusieurs, en quelque nombre que ce soit, qui se tiennent tous par la main : que le premier de

1. C'est-à-dire *isolant*.

la chaîne soutienne par le fond la bouteille électrisée, et que le dernier tire une étincelle du fil d'archal, ils sentiront tous au même instant la commotion dans les bras et dans la poitrine. Cette expérience a été faite à Versailles devant le Roy sur 240 personnes à la fois. Le même effet s'ensuivrait encore, si les acteurs, au lieu de se tenir par la main, étaient joints ensemble par des fils ou des chaînes de métal, par l'eau tranquille d'un grand vase ou même d'un bassin dans lequel ils auraient les mains plongées. (DALIBARD, *Histoire abrégée de l'électricité*, introduction aux *Expériences et Observations sur l'électricité faites par* M. B. FRANKLIN.)

Lettre II (à Collinson).

1er septembre 1747.

Monsieur,

Je vous ai appris dans ma dernière lettre qu'en continuant nos recherches électriques, nous avions observé quelques phénomènes singuliers, que nous avons regardés comme nouveaux : je me suis engagé à vous en rendre compte, quoique j'appréhende qu'ils n'aient pas pour vous le mérite de la nouveauté. Tant de personnes ont travaillé dans votre pays sur les expériences électriques, que quelqu'un se sera probablement rencontré avec nous sur les mêmes observations.

Le premier phénomène est l'étonnant effet des corps pointus, tant pour *tirer* que pour *pousser* le feu électrique, par exemple.

Placez un boulet de fer de 3 ou 4 pouces de diamètre sur l'orifice d'une bouteille de verre bien nette et bien sèche : par un fil de soie attaché au lambris, précisément au-dessus de l'orifice de la bouteille, suspendez une petite boule de liège, environ de la grosseur d'une balle de mousquet, que le fil soit de longueur convenable pour

que la boule de liège vienne s'arrêter à côté du boulet : électrisez le boulet, et le liège sera repoussé à la distance de 4 ou 5 pouces, plus ou moins, suivant la quantité d'électricité.... Dans cet état, si vous présentez au boulet la pointe d'un poinçon long et délié, à 6 ou 8 pouces de distance, la répulsion sera détruite sur-le-champ, et le liège volera vers le boulet. Pour qu'un corps émoussé produise le même effet, il faut qu'il soit approché à un pouce de distance et qu'il tire une étincelle. Afin de prouver que le feu électrique est *tiré* par la pointe, si vous ôtez de son manche le côté aplati du poinçon et que vous le fixiez sur un bâton de cire à cacheter, vous présenterez en vain le poinçon à la même distance, ou l'approcherez encore de plus près, le même effet n'en résultera point. Mais glissez le doigt le long de la cire, jusqu'à ce que vous touchiez le côté aplati, le liège alors volera sur-le-champ vers le boulet.... Si vous présentez cette pointe dans l'obscurité, vous y verrez quelquefois, à un pied de distance et plus, une lumière brillante, semblable à un feu follet, ou à un ver luisant. Moins la pointe est aiguë, plus il faut l'approcher pour apercevoir la lumière, et à quelque distance que vous voyiez la lumière, vous pouvez *tirer* le feu électrique, et détruire la répulsion.... Si une boule de liège ainsi suspendue est repoussée par le tube, et que la pointe lui soit brusquement présentée, même à une distance considérable, vous serez étonné de voir avec quelle rapidité le liège revole vers le tube. Des pointes de bois feraient le même effet que celles de fer, pourvu que le bois ne fût pas sec; car un bois parfaitement sec n'est pas meilleur conducteur d'électricité que la cire d'Espagne.

Pour montrer que les pointes *poussent* aussi bien qu'elles *tirent* le feu électrique, couchez une longue aiguille pointue sur le boulet, et vous ne pourrez assez électriser le boulet pour lui faire repousser la boule de liège;... ou bien, faites tenir à l'extrémité d'un canon de fusil sus-

pendu, ou d'une verge de fer, une aiguille qui pointe en avant, comme une espèce de petite bayonnette, dans cet état le canon de fusil, ou la verge ne saurait par l'application du tube à l'autre extrémité, être électrisée au point de donner une étincelle, le feu courant continuellement, s'échappe en silence à la pointe. Dans l'obscurité, vous pouvez lui voir produire le même effet que dans le cas dont nous venons de parler....

Le plus important pour nous n'est pas de savoir de quelle manière la nature exécute ses lois, il nous suffit de connaître les lois elles-mêmes. C'est un avantage réel de savoir qu'une porcelaine, abandonnée en l'air sans être soutenue, tombera et se brisera immanquablement; mais de savoir *comment* elle tombe, et *pourquoi* elle se brise, c'est une matière de pure spéculation : ces connaissances sont agréables à la vérité, mais sans elles nous pouvons garantir notre porcelaine.

Ainsi, dans le cas présent, il pourrait être de quelque usage pour le genre humain, de connaître le pouvoir des pointes, quoique nous ne fussions jamais en état d'en donner une explication précise....

Maintenant, si le feu de l'électricité et celui de la foudre sont les mêmes, comme j'ai tâché de le montrer,... je demande, cette supposition admise, si la connaissance du pouvoir des pointes ne pourrait pas être de quelque avantage aux hommes, pour préserver les maisons, les églises, les vaisseaux, etc., des coups de la foudre, en nous engageant à fixer perpendiculairement sur les parties les plus élevées de ces édifices, des verges de fer en forme d'aiguilles, et dorées pour prévenir la rouille, et du pied de ces verges un fil d'archal abaissé vers l'extérieur du bâtiment dans la terre, ou autour d'un des aubans d'un vaisseau, ou sur le bord jusqu'à ce qu'il touche l'eau? Ces verges de fer ne tireraient-elles pas probablement le feu électrique en silence hors du nuage, avant qu'il vînt assez près pour frapper? et par ce

moyen, ne pourrions-nous pas être préservés de tant de désastres soudains et effroyables?

Pour décider cette question, savoir si les nuages qui contiennent la foudre sont électrisés, ou non, j'ai imaginé de proposer une expérience à tenter en un lieu convenable à cet effet. Sur le sommet d'une haute tour ou d'un clocher, placez une espèce de guérite, assez grande pour contenir un homme et un tabouret électrique : du milieu du tabouret, élevez une verge de fer, qui passe en se courbant hors de la porte, et de là se relève perpendiculairement à la hauteur de 20 ou 30 pieds, et qui se termine en une pointe fort aiguë. Si le tabouret électrique est propre et sec, un homme qui y sera placé, lorsque les nuages électrisés y passeront un peu bas, peut être électrisé et donner des étincelles, la verge de fer lui attirant le feu du nuage. S'il y avait quelque danger à craindre pour l'homme (quoique je sois persuadé qu'il n'y en a aucun [1]), qu'il se place sur le plancher de la guérite, et que de temps en temps il approche de la verge le tenon d'un fil d'archal, qui a une extrémité attachée aux plombs, le tenant par un manche de cire; de cette sorte, les étincelles, si la verge est électrisée, frapperont de la verge au fil d'archal, et ne toucheront point l'homme. (FRANKLIN, *Expériences et observations sur l'électricité*.)

On sait que c'est en France que fut tentée et que réussit pour la première fois, à Marly, le 10 mai 1752, l'expérience décrite par Franklin.

On consultera avec intérêt, sur cette partie de l'histoire de l'électricité, l'ouvrage de Louis Figuier : *Exposition et histoire des principales découvertes scientifiques modernes*, t. II.

1. On ne peut s'empêcher de se demander si c'est sérieusement que Franklin affirme ainsi qu'il n'y a pas de danger à jouer avec la foudre, — et de remarquer qu'il laissa à d'autres le soin de s'en assurer. — J. G.

Coulomb.

Les lois des attractions et répulsions électriques.

Le premier qui ait introduit le calcul et les mesures précises dans l'étude de l'électricité jusque-là purement descriptive ou qualitative est un physicien français, Coulomb.

Les mémoires de Coulomb ont été publiés de nouveau en 1884 par les soins de la Société française de Physique. Nous empruntons quelques pages à ce volume.

COULOMB (CHARLES-AUGUSTIN DE) naquit le 14 juin 1736, à Angoulême, d'une famille de magistrats; il montra dans sa jeunesse un goût très décidé pour les sciences mathématiques, entra dans le corps du Génie militaire et fut envoyé à la Martinique, où il resta neuf ans. A propos des travaux divers qu'il eut à exécuter, l'occasion se présenta pour lui d'étudier diverses questions de Mécanique appliquée aux constructions. Ses Mémoires lui valurent le titre de Correspondant de l'Académie des sciences.

Il rentra en France et, en 1779, partagea avec Van Swinden le prix proposé par l'Académie pour la meilleure construction des boussoles; en 1781, il remportait le prix proposé pour la théorie des machines simples; c'est dans ce Mémoire que se trouvent ses expériences classiques sur le frottement.

Appelé à Paris en 1781, il fut nommé Membre de l'Académie et s'occupa activement des lois du magnétisme et de l'électricité; c'est pendant la période 1784-1789 qu'il écrivit les Mémoires fondamentaux sur les lois de la torsion, les lois des actions électriques et magnétiques et la distribution de l'électricité et du magnétisme.

Lorsque survint la Révolution, il était lieutenant-colonel du Génie, Intendant général des fontaines de France, et possédait la survivance à l'Intendance des Plans et Reliefs. Il donna sa démission de tous ses em-

plois. L'Académie avait été supprimée; il avait été éliminé de la Commission des Poids et Mesures, dont il était membre; forcé enfin de quitter Paris par la loi qui en expulsait tous les nobles, il se retira, suivi de son ami Borda, aux environs de Blois. Il revint à Paris, lors de la création de l'Institut, et fut nommé Inspecteur général des Études. Sa santé était déjà ébranlée depuis longtemps lorsqu'il mourut le 23 août 1806. (POTIER, introduction au volume des *Mémoires de Coulomb*, publié par la Société française de Physique. Paris, Gauthier-Villars. 1 vol. in-8.)

Premier mémoire (1785).

Construction et usage d'une balance électrique, fondée sur la propriété qu'ont les fils de métal d'avoir une force de torsion proportionnelle à l'angle de torsion.

Détermination expérimentale de la loi suivant laquelle les éléments des corps électrisés du même genre d'électricité se repoussent mutuellement.

Dans un Mémoire donné à l'Académie en 1784, j'ai déterminé, d'après l'expérience, les lois de la force de torsion d'un fil de métal, et j'ai trouvé que cette force était, en raison composée de l'angle de torsion, de la quatrième puissance du diamètre du fil de suspension et de l'inverse de sa longueur, en multipliant le tout par un coefficient constant qui dépend de la nature du métal et qui est facile à déterminer par l'expérience.

J'ai fait voir dans le même Mémoire qu'au moyen de cette force de torsion il était possible de mesurer avec précision des forces très peu considérables, comme, par exemple, $\frac{1}{10000}$ de grain ($0^{\text{dyne}},005$). J'ai donné dans le même Mémoire une première application de cette théorie, en cherchant à évaluer la force constante attribuée à l'adhérence dans la formule qui exprime le frottement

de la surface d'un corps solide en mouvement dans un fluide.

Je mets aujourd'hui sous les yeux de l'Académie une balance électrique construite d'après les mêmes principes; elle mesure avec la plus grande exactitude l'état et la force électrique d'un corps, quelque faible que soit le degré de l'électricité.

Construction de la balance. (Pl. I.)

Quoique la pratique m'ait appris que, pour exécuter d'une manière commode plusieurs expériences électriques, il faut corriger quelques défauts dans la première balance de ce genre que j'ai fait faire, cependant, comme c'est jusqu'ici la seule dont je me sois servi, j'en vais donner la description, en avertissant que sa forme et sa grandeur peuvent et doivent être variées suivant la nature des expériences qu'on a dessein de faire. La figure 1 représente en perspective cette balance dont voici le détail.

Sur un cylindre de verre ABCD, de 12 pouces ($32^c,48$) de diamètre et de 12 pouces de hauteur, on place un plateau de verre de 13 pouces de diamètre qui recouvre en entier le vaisseau de verre; ce plateau est percé de deux trous de 20 lignes ($4^c,51$) à peu près de diamètre, l'un au milieu en *f*, sur lequel s'élève un tuyau de verre de 24 pouces de hauteur; ce tuyau est cimenté sur le trou *f*, avec le ciment en usage dans les appareils électriques; à l'extrémité supérieure du tuyau, en *h*, est placé un micromètre de torsion qu'on voit en détail à la figure 2. La partie supérieure n° 1 porte le bouton *b*, l'index *io* et la pince de suspension *q*; cette pièce entre dans le trou G de la pièce n° 2; cette pièce n° 2 est formée d'un cercle *ab* divisé sur son champ en 360° et d'un tuyau de cuivre Φ qui entre dans le tuyau H, n° 3, soudé à l'intérieur de l'extrémité supérieure du tuyau ou de la tige *fh* de verre de la figure 1. La pince *q* (fig. 2, n° 1) a à peu près la forme

de l'extrémité d'un porte-crayon solide qui peut se serrer au moyen de l'anneau *q*; c'est dans la pince de ce porte-crayon qu'est saisie l'extrémité d'un fil d'argent très fin; l'autre extrémité du fil d'argent est saisie (fig. 3) en P par la pince d'un cylindre P*o* de cuivre ou de fer, dont le diamètre n'a guère que 1 ligne ($0^c,22$), et dont l'extrémité P est fendue et forme une pince qui se serre par le moyen du coulant Φ. Ce petit cylindre est renflé et percé en C pour y faire glisser (fig. 1) l'aiguille *ag*; il faut que le poids de ce petit cylindre soit assez considérable pour tendre le fil d'argent sans le rompre. L'aiguille que l'on voit (fig. 1) en *ag*, suspendue horizontalement à la moitié à peu près de la hauteur du grand vase qui la renferme, est formée, ou d'un fil de soie enduit de cire d'Espagne ou d'une paille également enduite de cire d'Espagne et terminée depuis *q* jusqu'en *a* sur 18 lignes ($4^c,06$) de longueur, par un fil cylindrique de gomme laque; à l'extrémité *a* de cette aiguille est une petite balle de sureau de 2 à 3 lignes de diamètre : en *g*, est un petit plan vertical de papier passé à la térébenthine, qui sert de contrepoids à la balle *a* et qui ralentit les oscillations.

Nous avons dit que le couvercle AB était percé d'un second trou en *m*; c'est dans ce second trou que l'on introduit un petit cylindre *m* Φ *t*, dont la partie inférieure Φ *t* est de gomme laque; en *t*, est une balle également de sureau; autour du vase, à la hauteur de l'aiguille, on décrit un cercle *z* Q divisé en 360° : pour plus de simplicité je me sers d'une bande de papier divisée en 360° que je colle autour du vase, à la hauteur de l'aiguille.

Pour commencer à opérer avec cet instrument, je fais à peu près, en plaçant le couvercle, répondre le trou *m* à la première division, ou au point O du cercle *z*OQ tracé sur le vase. Je place l'index *oi* du micromètre sur le point o ou la première division de ce micromètre; je fais ensuite tourner tout le micromètre dans le tube vertical *fh*, jusqu'à ce que, en regardant par le fil vertical

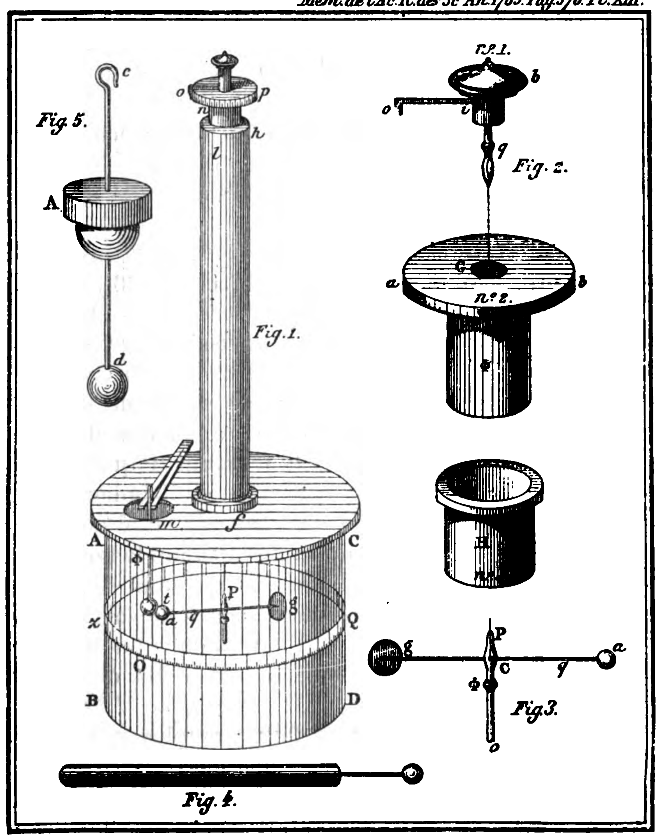
qui suspend l'aiguille et le centre de la balle, l'aiguille *ag* se trouve répondre à la première division du cercle *z*OQ. J'introduis ensuite par le trôu *m* l'autre balle *t* suspendue au fil *m* Φ *t*, de manière qu'elle touche la balle *a* et qu'en regardant par le centre du fil de suspension et la balle *t* on rencontre la première division o du cercle *z*OQ. La balance est actuellement en état de se prêter à toutes les opérations; nous allons en donner pour exemple le moyen dont nous nous sommes servi pour déterminer la foi fondamentale suivant laquelle les corps électrisés se repoussent.

Loi fondamentale de l'électricité.

La force répulsive de deux petits globes électrisés de la même nature d'électricité est en raison inverse du carré de la distance du centre des deux globes.

Expérience. — On électrise (fig. 4) un petit conducteur qui n'est autre chose qu'une épingle à grosse tête, qui se trouve isolée en enfonçant sa pointe dans l'extrémité d'un bâton de cire d'Espagne; on introduit cette épingle dans le trou *m* et on lui fait toucher la balle *t*, en contact avec la balle *a* : en retirant l'épingle, les deux balles se trouvent électrisées de la même nature d'électricité et elles se chassent mutuellement à une distance que l'on mesure, en regardant, par le fil de suspension et le centre de la balle *a*, la division correspondante du cercle *z*OQ; tournant ensuite l'index du micromètre dans le sens *pno*, on tord le fil de suspension *l*P et l'on produit une force proportionnelle à l'angle de torsion qui tend à rapprocher la balle *a* de la balle *t*. On observe, par ce moyen, la distance à laquelle différents angles de torsion ramènent la balle *a* vers la balle *t* et, en comparant les forces de torsion avec les distances correspondantes des deux balles, on détermine la loi de répulsion.

Mém. de l'Ac. R. des Sc An. 1785. Pag. 576. Pl. XIII.



Fac-similé réduit de la Planche originale XIII reproduite dans le tome I des *Mémoires publiés par la Société française de Physique*. Paris. Gauthier-Villars.

Je présenterai seulement ici quelques essais qui sont faciles à répéter, et qui mettront tout de suite sous les yeux la loi de la répulsion.

Premier essai. — Ayant électrisé les deux balles avec la tête d'épingle, l'index du micromètre répondant à o, la balle *a* de l'aiguille s'est éloignée de la balle *t* de 36°.

Deuxième essai. — Ayant tordu le fil de suspension au moyen du bouton *o* du micromètre de 126°, les deux balles se sont rapprochées et arrêtées à 18° de distance l'une de l'autre.

Troisième essai. — Ayant tordu le fil de suspension de 567°, les deux balles se sont rapprochées à 8° 30′.

Explication et résultat de cette expérience. — Lorsque les balles ne sont pas encore électrisées, elles se touchent, et le centre de la balle *a*, suspendue à l'aiguille, n'est éloigné du point où la torsion du fil de suspension est nulle que de la moitié des diamètres de deux balles. Il faut être averti que le fil d'argent *l*P qui formait la suspension avait 28 pouces ($75^{cm},80$) de longueur, et ce fil était si fin, que le pied de longueur de ce fil ne pesait que $\frac{1}{16}$ de grain ($0^{gr},01$ par mètre). En calculant la force qu'il fallait pour tordre ce fil, en agissant au point *a*, éloigné de 4 pouces ($10^{c},83$) du fil *l*P ou du centre de suspension, j'ai trouvé, par les formules expliquées dans un Mémoire sur les lois de la force de torsion des fils de métal, imprimé dans le volume de l'*Académie pour 1784*, que pour tordre ce fil de 360° il ne fallait employer au point *a*, en agissant avec le levier *a*P, de 4 pouces ($10^{cm},83$) de longueur, qu'une force de $\frac{1}{340}$ de grain ($0^{dyne},153$) : ainsi, comme les forces de torsion sont, comme il est prouvé dans ce Mémoire, comme les angles de torsion, la moindre force répulsive entre les deux balles les éloignait sensiblement l'une de l'autre.

Nous trouvons dans notre première expérience, où l'index du micromètre est sur le point 0, que les balles

sont éloignées de 36°, ce qui produit en même temps une force de torsion de

$$36° = \frac{1}{3400} \text{ de grain } (0^{\text{dyne}},0153);$$

dans le second essai, la distance des balles est de 18°; mais, comme l'on a tordu le micromètre de 126°, il en résulte qu'à une distance de 18° la force répulsive était 144° : ainsi, à la moitié de la première distance, la répulsion des balles est quadruple.

Dans le troisième essai on a tordu le fil de suspension de 567°, et les deux balles ne se trouvent plus éloignées que de 8°,5. La torsion totale était, par conséquent, 576°, quadruple de celle du deuxième essai, et il ne s'en fallait que de $\frac{1}{2}$ degré que la distance des deux balles dans ce troisième essai ne fût réduite à la moitié de celle où elle était au deuxième. Il résulte donc de ces trois essais que l'action répulsive, que les deux balles électrisées de la même nature d'électricité exercent l'une sur l'autre, suit la raison inverse du carré des distances.

Première remarque. — L'électricité des deux balles diminue un peu pendant le temps que dure l'expérience; j'ai éprouvé que le jour où j'ai fait les essais qui précèdent, les balles électrisées se trouvant par leur répulsion à 30° de distance l'une de l'autre, sous un angle de torsion de 50°, elles se sont rapprochées d'un degré dans trois minutes; mais, comme je n'ai employé que deux minutes à faire les trois essais qui précèdent, on peut, dans ces expériences, négliger l'erreur qui résulte de la perte de l'électricité. Si l'on désire une plus grande précision ou lorsque l'air est humide et que l'électricité se perd rapidement, on doit, par une première observation, déterminer la loi de la diminution de l'action électrique des deux balles dans chaque minute, et se servir ensuite de cette première observation pour corriger les résultats des expériences qu'on voudra faire ce jour-là.



DEUXIÈME REMARQUE. — La distance des deux balles, lorsqu'elles sont éloignées l'une de l'autre par leur action répulsive réciproque, n'est pas précisément mesurée par l'angle qu'elles forment, mais par la corde de l'arc qui joint leur centre; de même que le levier à l'extrémité duquel s'exerce l'action n'est pas mesuré par la moitié de la longueur de l'aiguille, ou par le rayon, mais par le cosinus de la moitié de l'angle formé par la distance des deux balles, ces deux quantités, dont l'une est plus petite que l'arc et diminue par conséquent la distance mesurée par cet arc, dans le temps que l'autre diminue le levier, se compensent en quelque façon, et, dans les expériences du genre de celles dont nous sommes occupés, on peut sans erreur sensible s'en tenir à l'évaluation que nous avons donnée, si la distance des deux balles ne passe pas 25° à 30°; dans les autres cas, il faut en faire le calcul rigoureusement.

Deuxième mémoire (1785).

Deuxième méthode expérimentale pour déterminer la loi suivant laquelle un globe de 1 ou 2 pieds de diamètre attire un petit corps électrisé d'une électricité de nature différente de la sienne.

La méthode que nous allons suivre consiste à suspendre une aiguille horizontalement, dont l'extrémité seulement soit électrisée, et qui, présentée à une certaine distance d'un globe électrisé, d'une nature différente d'électricité, est attirée et oscille en vertu de l'action de ce globe : on détermine ensuite par le calcul, d'après le nombre des oscillations dans un temps donné, la force attractive à différentes distances, comme on détermine la force de la gravité par les oscillations du pendule ordinaire.

Voici quelques observations qui nous ont dirigé dans les expériences qui vont suivre. Un fil de soie, tel qu'il sort du cocon, et qui peut porter jusqu'à 80 grains

($0^{gr},424$) sans se rompre, a une flexibilité de torsion telle, que si, à un pareil fil de 3 pouces ($8^{cm},12$) de longueur, on suspend horizontalement dans le vide une petite plaque circulaire, dont le poids et le diamètre soient connus, on trouvera par le temps des oscillations de la petite plaque, d'après les formules expliquées dans un Mémoire sur la force de torsion, imprimé dans le volume de l'*Académie pour 1784*, qu'en agissant avec un levier de 7 à 8 lignes ($1^{cm},8$) pour tordre la soie autour de son axe de suspension il ne faudra, pour un cercle entier de torsion, employer le plus souvent qu'une force d'un soixantième de millième de grain ($0^{d},0009$); et si le fil de suspension a une longueur double ou de 6 pouces, il ne faudra que $\frac{1}{120000}$ de grain. Ainsi, en suspendant horizontalement une aiguille à cette soie, lorsque l'aiguille sera parvenue à l'état de repos ou que la soie sera entièrement détordue, si, par le moyen d'une force quelconque, on fait faire des oscillations à cette aiguille, dont l'amplitude ne s'éloigne que de 20° à 30° de la ligne où la torsion est nulle, la force de torsion ne pourra influer que d'une manière insensible sur la durée des oscillations, quand même la force qui produirait les oscillations ne serait que de $\frac{1}{100}$ de grain ($0^{d},52$). D'après cette première donnée, voici comment on s'y est pris pour déterminer la loi de l'attraction électrique.

On suspend (fig. 18) une aiguille *lg* de gomme laque, à un fil de soie *sc* de 7 à 8 pouces de longueur, d'un seul brin, tel qu'il sort du cocon; à l'extrémité *l* on fixe perpendiculairement à ce fil un petit cercle de 8 à 10 lignes ($1^{cm},8$ à 2,2) de diamètre, mais très léger et tiré d'une feuille de papier doré; le fil de soie est attaché en *s*, à l'extrémité inférieure d'une petite baguette *st*, séchée au four et enduite de gomme laque ou de cire d'Espagne; cette baguette est saisie en *t* par une poupée à pince qui coule le long de la règle *o*E et s'arrête à volonté au moyen de la vis *v*.

G est un globe de cuivre ou de carton, couvert d'étain,

porté par quatre piliers de verre enduits de cire d'Espagne, et surmontés chacun, pour rendre l'isolement plus parfait, de quatre bâtons de cire d'Espagne de 3 à 4 pouces de longueur. Ces quatre piliers sont fixés par leur partie inférieure à un plateau que l'on place sur une petite tablette à coulisse, qui peut, ainsi que l'indique la figure, s'arrêter à la hauteur la plus commode pour l'expérience; la règle EO peut aussi, au moyen de la vis E, s'arrêter à la hauteur convenable.

Tout étant ainsi préparé, on place le globe G de manière que son diamètre horizontal G*r* réponde au centre de la plaque *l*, qui en est éloignée de quelques pouces. On donne une étincelle électrique au globe au moyen de la bouteille de Leyde, on présente un corps conducteur à la plaque *l*, et l'action du globe électrisé sur le fluide électrique de la plaque non électrisée donne à cette plaque une électricité de différente nature de celle du globe, en sorte que, en retirant le corps conducteur, le globe et la plaque agissent l'un sur l'autre par attraction.

Expérience. — Le globe G avait 1 pied ($32^{cm},48$) de diamètre, la plaque *l* avait 7 lignes ($1^{cm},58$), l'aiguille de gomme laque *lg* 15 lignes (3,38) de longueur; le fil de suspension *sc* était une soie telle qu'elle sort du cocon, de 8 lignes (1,80) de longueur : lorsque la poupée était au point O, la plaque *l* touchait le globe en *r* et, à mesure que l'on éloignait la poupée vers E, la plaque s'éloignait du centre du globe de la quantité donnée par les divisions 0, 3, 6, 9, 12 pouces, et le globe étant électrisé d'une électricité appelée *électricité positive*, la plaque de l'électricité négative par le procédé indiqué, on a eu :

Premier essai. — La plaque *l*, placée à 3 pouces (8,12) de distance de la surface du globe ou à 9 pouces (24,36) de son centre, a donné 15 oscillations en 20".

Deuxième essai. — La plaque *l* éloignée de 18 pouces (48,72) du centre du globe, on a eu 15 oscillations en 40".

Troisième essai. — La plaque *l* éloignée de 24 pouces (64,97) du centre du globe, on a eu 15 oscillations en 60".

Explication et résultat de cette expérience. — Quand tous les points d'une surface sphérique agissent par une force attractive ou répulsive en raison inverse du carré des distances sur un point placé à une distance quelconque de cette surface, on sait que l'action est la

Fig. 18.

même que si toute la surface sphérique était concentrée au centre de la sphère.

Mais, comme dans notre expérience la plaque *l* n'a que 7 lignes de diamètre et que dans les essais sa moindre distance au centre de la sphère a été de 9 pouces, on peut, sans erreur sensible, supposer toutes les lignes qui vont du centre de la sphère à un point de la plaque, parallèles et égales; et, par conséquent, l'action totale de la plaque peut être supposée réunie à son centre ainsi que l'action du globe; en sorte que, dans les petites oscillations de

l'aiguille, l'action qui fait osciller l'aiguille sera une quantité constante pour une distance donnée et agira suivant la direction qui joint les deux centres. Ainsi, si l'on nomme φ la force, T le temps d'un certain nombre d'oscillations, on aura T proportionnel à $\frac{1}{\sqrt{\varphi}}$; mais, si d est la distance Gl du centre du globe au centre de la plaque, et que les forces attractives soient proportionnelles à l'inverse du carré des distances ou à $\frac{1}{d^2}$, il en résultera que T sera proportionnel à d ou à la distance; en sorte que, en faisant dans nos essais varier la distance, le temps d'un même nombre d'oscillations a dû être comme la distance du centre de la plaque au centre du globe. Comparons cette théorie avec l'expérience.

	Distance des centres.	Durée des 15 oscillations.
Premier essai...............	9^p	20^s
Deuxième essai..............	18	41
Troisième essai.............	24	60

Les distances sont ici comme les nombres 3, 6, 8.
Les temps d'un même nombre d'oscillations :: 20, 41, 60.
Par la théorie, ils auraient dû être :: 20, 40, 54.

Ainsi, dans ces trois essais, la différence entre la théorie et l'expérience est de $\frac{1}{10}$ pour le dernier essai comparé au premier et presque nulle pour le deuxième comparé au premier; mais il faut remarquer qu'il a fallu à peu près quatre minutes pour faire les trois essais; que, quoique l'électricité tînt assez longtemps le jour de cette expérience, elle perdait cependant $\frac{1}{40}$ d'action par minute. Nous verrons, dans un Mémoire qui suivra celui que je présente aujourd'hui, que lorsque la densité électrique n'est pas très forte, l'action électrique de deux corps électrisés diminue dans un temps donné, exactement comme la densité électrique ou comme l'intensité de l'action; ainsi, puisque nos essais ont duré quatre minutes et que l'action électrique

perdait $\frac{1}{40}$ par minute, du premier au dernier essai, l'action due à l'intensité de la densité électrique, indépendante de la distance, a dû être diminuée à peu près de $\frac{1}{10}$; par conséquent, pour avoir le temps de la durée corrigée des 15 oscillations dans le dernier essai, il faut faire $\sqrt{10} : \sqrt{9} :: 60^s$: la quantité cherchée, que l'on trouvera de 57 secondes, qui ne diffère que de $\frac{1}{20}$ du nombre 60 secondes trouvé par l'expérience.

Nous voici donc parvenus, par une méthode absolument différente de la première, à un résultat semblable; ainsi nous pouvons en conclure que l'attraction réciproque du fluide électrique appelé *positif*, sur le fluide électrique nommé ordinairement *négatif*, est en raison inverse du carré des distances; de même que nous avons trouvé, dans notre premier Mémoire, que l'action réciproque d'un fluide électrique de même nature est en raison inverse du carré des distances. (COULOMB, *Mémoires de l'Académie Royale des sciences*, 1784-89. — Reproduits dans le tome I des *Mémoires publiés par la Société française de Physique*, p. 107.)

CHAPITRE III

LA PILE

Vers 1789, Galvani [1], professeur de Physique à Bologne, poursuivant, comme l'on sait, des expériences relatives à l'action de l'électricité sur les animaux, disposait pour ces essais des cuisses de grenouille suspendues à un crochet de cuivre, qui fut employé fortuitement à les suspendre à un balcon de fer. Le contact du fer et du cuivre déterminait des convulsions vives et répétées dans les membres de la grenouille, qu'on voyait rebondir dès que

1. *Louis* ou *Aloysius Galvani*, né à Bologne, en 1737; professeur d'anatomie à l'Université de cette ville en 1762; mort en 1798. L'expérience célèbre citée par Dumas a été racontée de façons fort diverses. Galvani s'occupait depuis longtemps d'études anatomiques et physiologiques sur les grenouilles, et il en avait presque toujours dans son laboratoire. C'est sa femme, la signora Lucia Galvani, née Galeazzi, qui observa la première les contractions d'une grenouille préparée, au voisinage d'une machine électrique, dès 1780. Elle fit part aussitôt de ce phénomène à Galvani, qui s'empressa de le reproduire et l'étudia pendant dix ans. Il fit connaître ses recherches dans un mémoire remarquable en latin, publié en 1791 dans les *Mémoires à l'Académie de Bologne* (t. VII, p. 363) sous le titre : ALOYSII GALVANI, *de viribus electricitatis in motu musculari, commentarius*. Cette publication produisit une profonde sensation. — Les mémoires de Galvani ont été publiés de nouveau en 1844, par l'Institut de Bologne, en un beau volume in-4, avec un important commentaire de Gherardi. — On consultera avec fruit, sur l'histoire de la pile, l'ouvrage de L. FIGUIER, *Exposition et histoire des principales découvertes scientifiques modernes*. — J. G.

leur poids les ramenait au contact du fer. Galvani reconnut que les convulsions se produisent toujours lorsqu'on établit une communication métallique entre les nerfs et les muscles de la grenouille.

Volta[1], s'emparant vivement du sujet, fit voir qu'autant les convulsions sont incertaines, peu intenses et fugitives, lorsqu'on emploie un seul métal pour mettre les nerfs et les muscles en rapport, autant elles sont promptes, vives et persistantes lorsque l'arc métallique est formé de deux métaux différents.

Galvani considéra ces phénomènes comme étant dus à une électricité animale dont les muscles et les nerfs étaient le siège, et à laquelle l'arc métallique livrait passage. Volta les attribua, de son côté, à une électricité physique qui prenait naissance au contact de deux métaux

1. *Alexandre Volta*, né à Côme (Milanais) en 1745. Il s'occupa de bonne heure d'électricité : à dix-huit ans il entra en relations avec le célèbre électricien du temps, l'abbé Nollet. Il fut d'abord professeur de physique dans les écoles de sa ville natale. Ses premiers travaux, fort remarqués en Italie, le firent nommer en 1779 à la chaire de physique de l'Université de Pavie, qu'il occupa avec éclat pendant près de quarante ans. En 1782, il fit un premier voyage à Paris, et travailla avec Lavoisier et Laplace. Après la publication du célèbre mémoire de Galvani en 1791, Volta soutint contre l'illustre professeur de Bologne la polémique dont parle Dumas, et il entreprit une série d'expériences qui le conduisirent, au commencement de l'année 1800, à la découverte qui devait immortaliser son nom, celle de la pile électrique. Elle eut un immense retentissement. Le premier consul invita Volta à venir à Paris en 1801, répéter ses expériences devant l'Institut de France. Non content de lui faire décerner par l'Académie une médaille d'or, Bonaparte le combla d'honneurs et ne cessa de lui témoigner la plus grande admiration. Décoré de la Légion d'honneur et de la couronne de Fer, député de l'Université de Pavie à la Consulte de Lyon, créé comte et sénateur du royaume d'Italie, Volta fut nommé, en 1802, l'un des huit associés étrangers de l'Académie des sciences. Il résigna ses fonctions à l'Université de Pavie en 1819, et se retira à Côme, dans sa ville natale, où il passa les dernières années de sa vie dans une profonde retraite entouré de sa famille et de quelques amis. Il mourut en 1827, à l'âge de quatre-vingt-deux ans. Ses *Œuvres complètes* ont été publiées à Florence en 1816, en 5 volumes in-8. — J. G.

différents, quels qu'ils fussent. L'Europe savante fut longtemps indécise.

Le temps a démontré qu'ils avaient tous deux raison; les muscles produisent, jusqu'à extinction complète de leur excitabilité, une quantité d'électricité dont l'appréciation et la mesure ne sont plus l'objet d'un doute. D'autre part, deux métaux plongés, par un bout, dans une eau acide ou saline et mis en contact par leurs surfaces libres, excitent un mouvement électrique considérable.

Tout le monde sait que la pile de Volta, découverte sur ces entrefaites, fut d'abord formée de disques de cuivre, de zinc et de drap mouillé, rangés dans cet ordre en grand nombre, comme une colonne ou pile de monnaie, et que les deux électricités de nom contraire s'observent, condensées aux deux bouts ou pôles de la pile. Qu'on ait augmenté tantôt la surface, tantôt le nombre des plaques de métal, et qu'on se soit servi de liqueurs acides ou salines plus excitatrices que l'eau, peu importe. Mais, réunit-on les deux pôles de la pile avec un fil métallique, celui-ci s'échauffe, rougit, brûle ou fond; il attire la limaille de fer et dévie la boussole, se comportant à la fois comme un émissaire de chaleur et de magnétisme. Si l'on coupe le fil de métal et qu'on en rapproche les extrémités sans les joindre, un composé, placé dans l'intervalle libre, est presque toujours ramené à ses éléments, et tout être vivant, mis en communication avec eux, est frappé de convulsions.

Il est intéressant de se reporter aux souvenirs d'une époque où les professeurs de Physique exposaient, à leur auditoire étonné, la théorie de la pile voltaïque; le simple contact de deux métaux, qui ne perdaient ni ne gagnaient rien, disaient-ils, faisait néanmoins sortir de cet appareil magique des effluves capables de rivaliser avec l'éclat du Soleil, pour la lumière; avec les combustibles les plus énergiques, pour la chaleur; avec les affinités les plus puissantes, pour les décompositions chimiques; propres

même à faire reparaître, pour quelques instants, le mécanisme de la vie dans un cadavre inanimé.

Toutes ces énergies seraient nées de rien! Mais l'homme tirait donc du néant la lumière, la chaleur, le magnétisme, la puissance mécanique, les forces chimiques et, sinon la vie elle-même, du moins une image assez fidèle de la vie, pour autoriser les rêves les plus audacieux! Dans les confidences du laboratoire, dans ces causeries intimes, où de tout temps les illusions ont trouvé place à côté des vérités, les uns se demandaient, alors, si l'homme n'était pas armé d'un instrument qui allait lui assurer une jeunesse éternelle; les autres, s'il n'avait pas retrouvé ce feu du ciel, au moyen duquel l'argile allait s'animer sous la main d'un nouveau Prométhée.

Une science vraie a soufflé sur les bulles de savon de cette science fausse, et elles se sont dissipées.

Au moyen d'une suite d'expériences dirigées avec une profonde connaissance des règles de la Chimie la plus sûre, Faraday a mis au rang des vérités les mieux démontrées les principes suivants :

Toute action chimique est accompagnée d'un dégagement d'électricité; le courant électrique naît dès que l'action chimique commence, et il cesse dès qu'elle s'achève; il s'affaiblit ou s'exalte, selon qu'elle augmente ou qu'elle diminue; sa direction change, si le sens de l'action chimique est lui-même renversé.

Enfin, le seul contact de deux métaux, quels qu'ils soient, ne développe jamais d'électricité, en quantité suffisante pour en faire une source utile, si tant est qu'il en produise quelques traces, comme le pensent certains physiciens, qui, du reste, ne veulent plus qu'elle y naisse de rien, tant faible soit-elle.

Si la source de la force de la machine à vapeur est dans la houille que son foyer brûle, la source de la force de la pile de Volta provient donc du zinc que brûlent les acides dans chacun de ses couples.

L'expérience primitive de Galvani s'explique, à son tour, lorsque l'on reconnaît que la source de la force qui agite les membres de la grenouille réside dans les matières combustibles contenues dans leurs muscles et qui y sont brûlées par l'oxygène de leur sang.

Il n'y a donc ni électricité de contact vraiment pratique, ni électricité animale; les deux faits découverts et analysés par les savants italiens étaient des cas particuliers d'une loi générale : Toute combustion ou plutôt toute action chimique, qu'elle s'opère dans les corps bruts ou dans les organes d'un être vivant, développe de l'électricité. (Dumas, *Discours et Éloges académiques*, t. I, p. 76 : *Éloge de Faraday*.)

L'invention de la pile.

Lettre de Volta
à sir J. Banks, président de la Société Royale de Londres[1].

Côme, en Milanais, ce 20 mars 1800.

« Après un long silence dont je ne chercherai pas à m'excuser, j'ai le plaisir de vous communiquer, monsieur, et par votre moyen à la *Société Royale*, quelques résultats frappants auxquels je suis arrivé en poursuivant mes recherches sur l'électricité excitée par le simple contact mutuel des métaux de différente espèce, et même par celui des autres conducteurs aussi différents entre eux, soit liquides, soit contenant quelque humeur à laquelle ils doivent proprement leur pouvoir conducteur.

« Le principal de ces résultats, et qui comprend à peu près tous les autres, est la construction d'un appareil qui ressemble pour les effets (c'est-à-dire pour les commotions qu'il est capable de faire éprouver dans les bras, etc.) aux bouteilles de Leyde, et mieux encore, aux batteries

1. *Philosophical transactions* for 1800, part. II, p. 408.

électriques faiblement chargées, qui agiraient cependant sans cesse, et dont la charge, après chaque explosion, se rétablirait d'elle-même : qui jouiraient, en un mot, d'une charge indéfectible, d'une action sur le fluide électrique, ou impulsion, perpétuelle ; mais qui d'ailleurs en diffère essentiellement, et par cette action continuelle qui lui est propre, et parce que, au lieu de consister, comme les bouteilles et les batteries électriques ordinaires, en une ou plusieurs lames isolantes, en couches minces de ces corps censés être les seuls *électriques*, armés de conducteurs ou corps dits *non électriques*, ce nouvel appareil est formé uniquement de plusieurs de ces derniers corps, choisis même entre les meilleurs conducteurs, et par là les plus éloignés, suivant ce que l'on a toujours cru, de la nature électrique. Oui, l'appareil dont je vous parle, et qui vous étonnera sans doute, n'est qu'un assemblage de bons conducteurs de différentes espèces, arrangés d'une certaine manière. Vingt, quarante, soixante pièces de cuivre, ou mieux d'argent, appliquées chacune à une pièce d'étain, ou, ce qui est beaucoup mieux, de zinc, et un nombre égal de couches d'eau, ou de quelque autre humeur qui soit meilleur conducteur que l'eau simple, comme l'eau salée, la lessive, etc. ; ou des morceaux de carton, de peau, etc., bien imbibés de ces humeurs ; de telles couches interposées à chaque couple ou combinaison des deux métaux différents ; une telle suite alternative, et toujours dans le même ordre, de ces trois espèces de conducteur, voilà tout ce qui constitue mon nouvel instrument, qui imite, comme j'ai dit, les effets des bouteilles de Leyde ou des batteries électriques, en donnant les mêmes commotions que celles-ci ; qui, à la vérité, reste beaucoup au-dessous de l'activité des dites batteries chargées à un haut point, quant à la force et au bruit de l'explosion, à l'étincelle, à la distance à laquelle peut s'opérer la décharge, etc. ; égalant seulement les effets d'une batterie chargée à un degré très faible, d'une

batterie pourtant ayant une capacité immense; mais qui d'ailleurs surpasse infiniment la vertu et le pouvoir de ces mêmes batteries, en ce qu'il n'a pas besoin comme elles d'être chargé d'avance au moyen d'une électricité étrangère, et en ce qu'il est capable de donner la commotion toutes les fois qu'on le touche convenablement, quelque fréquents que soient ces attouchements.

« Cet appareil, semblable dans le fond, comme je le ferai voir, et même tel que je viens de le construire pour la forme, à l'*organe électrique naturel* de la torpille, de l'anguille tremblante, etc., bien plus qu'à la bouteille de Leyde et aux batteries électriques connues, je voudrais l'appeler *organe électrique artificiel*. Et au vrai, n'est-il pas, comme celui-là, composé uniquement de corps conducteurs? N'est-il pas, au surplus, actif par lui-même, sans aucune charge précédente, sans le secours d'une électricité quelconque excitée par aucun des moyens connus jusqu'ici; agissant sans cesse et sans relâche, capable enfin de donner à tous moments des commotions plus ou moins fortes, selon les circonstances, des commotions qui redoublent à chaque attouchement, et qui, répétées ainsi avec fréquence ou continuées pendant un certain temps, produisent ce même engourdissement des membres que fait éprouver la torpille, etc.?

« Je vais donner ici une description plus détaillée de cet appareil et de quelques autres analogues, aussi bien que des expériences relatives les plus remarquables.

« Je me fournis de quelques douzaines de petites plaques rondes ou disques de cuivre, de laiton, ou mieux d'argent, d'un pouce de diamètre, plus ou moins (par exemple des monnaies), et d'un nombre égal de plaques d'étain, ou, ce qui est beaucoup mieux, de zinc de la même figure et grandeur, à peu près : je dis à peu près, parce que la précision n'est pas requise, et en général la grandeur aussi bien que la figure des pièces métalliques est arbitraire; on doit avoir égard seulement qu'on puisse

les arranger commodément les unes sur les autres en forme de colonne. Je prépare, en outre, un nombre assez grand de rouelles de carton, de peau ou de quelque autre matière spongieuse, capable d'imbiber et de retenir beaucoup d'eau ou de l'humeur dont il faudra pour le succès des expériences qu'elles soient bien trempées. Ces tranches ou rouelles, que j'appellerai disques mouillés, je les fais un peu plus petits que les disques ou plateaux métalliques, afin qu'interposés à eux de la manière que je dirai bientôt, ils n'en débordent pas.

« Ayant sous ma main toutes ces pièces en bon état, c'est-à-dire les disques métalliques bien propres et secs, et les autres non métalliques bien imbibés d'eau simple, ou, ce qui est beaucoup mieux, d'eau salée, et essuyés ensuite légèrement pour que l'humeur n'en dégoutte pas, je n'ai plus qu'à les arranger comme il convient, et cet arrangement est simple et facile.

« Je pose donc horizontalement sur une table ou base quelconque, un des plateaux métalliques, par exemple un d'argent, et sur ce premier j'en adapte un de zinc; sur ce second je couche un des disques mouillés, puis un autre plateau d'argent, suivi immédiatement d'un autre de zinc, auquel je fais succéder encore un disque mouillé. Je continue ainsi de la même façon, accouplant un plateau d'argent avec un de zinc, et toujours dans le même sens, c'est-à-dire toujours l'argent dessous et le zinc dessus, ou *vice versa*, selon que j'ai commencé, et interposant à chacun de ces couples un disque mouillé : je continue, dis-je, à former de ces étages une colonne aussi haute qu'elle peut se soutenir sans s'écrouler.

« Or, si elle parvient à contenir environ vingt de ces étages ou couples de métaux, elle sera déjà capable, non seulement de faire donner des signes à l'électromètre de Cavallo, aidé du condensateur au delà de dix ou quinze degrés, de charger ce condensateur au point de lui faire donner une étincelle, etc., mais aussi de frapper les doigts

avec lesquels on vient toucher ses deux extrémités (la tête et le pied d'une telle colonne), d'un ou de plusieurs petits coups, et plus ou moins fréquents, selon qu'on réitère ces contacts; chacun desquels coups ressemble parfaitement à cette légère commotion que fait éprouver une bouteille de Leyde faiblement chargée, ou une batterie chargée plus faiblement encore, ou enfin une torpille extrêmement languissante, qui imite encore mieux les effets de mon appareil par la suite des coups répétés qu'elle peut donner sans cesse. »

La dernière partie de cette lettre de Volta au président de la Société Royale de Londres contient la description d'une nouvelle disposition de la pile, celle qui a reçu le nom d'*appareil à couronne de tasses*, avec quelques détails sur les sensations produites par cet appareil dans les organes du toucher, de la vue, de l'ouïe et du goût. Volta indiquait en même temps les précautions minutieuses qu'il fallait prendre pour communiquer à une chaîne formée de deux ou plusieurs personnes, la commotion électrique; car l'inventeur considérait surtout cet instrument comme propre à remplacer, dans ce dernier but, les batteries formées de bouteilles de Leyde.

« Tous les faits que j'ai rapportés dans ce long écrit, touchant l'action que le fluide électrique, incité et mû par mon appareil, exerce sur les différentes parties du corps que son courant envahit et traverse,... tous ces faits, déjà assez nombreux et d'autres qu'on pourra encore découvrir, en multipliant et variant les expériences de ce genre, vont ouvrir un champ assez vaste de réflexions, et des vues non seulement curieuses, mais intéressant particulièrement la médecine. Il y en aura pour occuper l'anatomiste, le physiologiste et le praticien. »

(FIGUIER, *Exposition et histoire des principales découvertes scientifiques modernes*. Paris, 4 vol. in-12, t. II, p. 314.)

Sur l'histoire et la théorie de la pile.

La lettre de Volta ne fut communiquée par sir J. Banks qu'à un petit nombre de personnes, notamment au chirurgien Anthony Carlysle, à Cruikshank et à Humphry Davy, alors âgé de vingt-deux ans. Ces savants s'empressèrent de construire et d'essayer le nouvel instrument, désigné alors habituellement sous le nom d'*électromoteur*; et, quelques semaines après l'arrivée en Angleterre de la lettre de Volta, Carlysle et Nicholson purent faire connaître l'un des effets les plus remarquables de la pile, la décomposition de l'eau. A la suite de cette découverte capitale, les savants de tous les pays s'empressèrent d'étudier les effets chimiques de l'électromoteur.

L'une des conséquences de ces faits fut de fournir de nouveaux arguments aux adversaires de la théorie de Volta ou de la production d'électricité par le contact de deux métaux; l'opinion contraire, que la production d'électricité est la conséquence des actions chimiques, s'affermit au contraire de plus en plus, surtout en Angleterre.

Or nul ne développa davantage ces applications chimiques de la pile que H. Davy; aussi ses vues sur la théorie de la pile sont-elles particulièrement dignes d'attention; le premier il soutint que, si l'électricité est produite par le contact, le courant est entretenu par l'action chimique. Ce fait semble avoir échappé à la plupart des auteurs; il nous a paru intéressant de le remettre en lumière et de reproduire les passages caractéristiques du Mémoire de Davy.

Ce Mémoire fut lu à la Société Royale le 20 novembre 1806, et inséré dans les *Transactions philosophiques* en 1807. Des traductions françaises *in extenso* de cet important Mémoire parurent à Genève dans la *Bibliothèque Britannique*, année 1807, et peu après à Paris dans les *Annales de Chimie*, cahier du 31 août 1807. Les deux traductions diffèrent à peine l'une de l'autre. Nous reproduisons celle de la *Bibliothèque Britannique* [1].

1. « Le travail de M. Davy, dit en note la Rédaction de la *Bibliothèque Britannique*, est d'une telle importance dans l'état actuel de la science à laquelle il appartient; il résout si bien les difficultés

« Les énergies électriques des métaux les uns relativement aux autres, ou les substances dissoutes dans l'eau, dans l'appareil voltaïque et d'autres instruments analogues, paraissent être les causes qui troublent l'équilibre, tandis que les changements chimiques tendent au contraire à le rétablir. C'est, très probablement, de l'action combinée de ces deux causes que les phénomènes dépendent.

« Dans la pile voltaïque composée de zinc, de cuivre et d'une solution de muriate de soude et dans ce qu'on a appelé sa condition de tension électrique, les disques communiquants de cuivre et de zinc sont à un état opposé d'électricité. Et à l'égard d'électricités aussi faibles l'eau peut être considérée comme un corps isolant. En conséquence, chaque disque de cuivre produit, par induction, un accroissement d'électricité positive sur le disque de zinc opposé; et chacun de ceux-ci augmente l'électricité négative sur le disque de cuivre opposé : l'intensité de l'effet s'accroît comme le nombre, et la quantité, comme l'étendue des surfaces qui composent la série.

« Lorsqu'on établit une communication entre les deux points extrêmes, les électricités opposées tendent à se détruire respectivement, et, si le milieu liquide pouvait être une substance incapable de décomposition, il y a tout lieu de croire que l'équilibre se rétablirait et que le mouvement produit par l'électricité cesserait. Mais la solution de muriate de soude étant composée de deux séries d'éléments, qui possèdent des énergies électriques opposées, l'oxygène et l'acide sont attirés par le zinc, et l'hydrogène et l'alcali par le cuivre. L'équilibre n'est que

et les contradictions qu'offraient les expériences et les théories des physiciens sur l'action chimico-galvanique; les faits y sont en si grand nombre, et les raisonnements tellement enchaînés et serrés que nous n'avons point cru, malgré l'étendue de ce Mémoire, devoir nous borner à un extrait. Nous en donnons la traduction aussi fidèle que nous avons pu la faire. »

momentané; car la solution de zinc est formée et l'hydrogène dégagé. L'énergie négative du cuivre et l'énergie contraire du zinc ont donc lieu de s'exercer de nouveau; seulement elles sont affaiblies par l'énergie opposée de la soude en contact avec le cuivre; et le procédé électromoteur se continue aussi longtemps que les changements chimiques peuvent s'opérer.

« Cette théorie réconcilie en quelque sorte les principes hypothétiques de l'action de la pile adoptés par son illustre inventeur avec les opinions sur les origines chimiques du galvanisme, mis en avant par le plus grand nombre des physiciens anglais; et elle est appuyée par beaucoup de faits et d'expériences. »

Et plus loin, Davy ajoute : « D'autres expériences, qui ont des résultats très frappants, fournissent encore des raisons de supposer que la décomposition du menstrue chimique est essentielle pour la continuation de l'action électromotrice de la pile ».

Dans le même Mémoire, se trouve une explication du mode de décomposition des corps composés, eau ou sels, qui n'est autre que la théorie bien connue sous le nom de *Théorie de Grotthuss*. Le Mémoire de Grotthuss est inséré au Cahier des *Annales de Chimie* du 31 juillet 1807, t. LXIII, sous ce titre : *De l'influence de l'électricité galvanique sur les végétations métalliques*, par C.-J. Théodore de Grotthuss. Le Mémoire de Davy se trouve dans le Cahier suivant des *Annales de Chimie* (31 août 1807), mais il avait été lu à la Société Royale le 20 novembre 1806. L'interprétation de Davy est donc au moins contemporaine de celle de Grotthuss, peut-être antérieure; et la théorie dite *de Grotthuss* pourrait tout aussi bien s'appeler *Théorie de Davy*.

Voici, à ce sujet, les passages les plus caractéristiques du Mémoire de Davy :

« Les faits dont on a rendu compte précédemment, relatifs aux changements et aux transitions que produit l'électricité, pourront être exprimés d'une manière géné-

rale, dans le langage admis en Physique, si l'on dit que l'hydrogène, les substances alcalines, les métaux et certains oxydes métalliques sont attirés par les surfaces métalliques électrisées négativement et repoussés par les mêmes surfaces à l'état positif; et, au contraire, que l'oxygène et les substances acides sont attirés par les surfaces métalliques positives et repoussés par les négatives....

« Il est très naturel de supposer que les énergies répulsive et attractive sont communiquées *d'une particule à une autre* de même espèce, de manière à établir dans le liquide une chaîne conductrice, et que le transport a lieu en conséquence; et beaucoup de faits semblent montrer que les choses se passent réellement ainsi....

« Dans les cas de séparation des parties constituantes de l'eau, et dans ceux où des solutions de sels neutres forment la totalité de la chaîne, il peut y avoir dans l'intérieur du fluide une succession de décompositions et de recompositions.... Il est facile d'expliquer, d'après les phénomènes généraux de décomposition et de transport, le mode par lequel l'oxygène et l'hydrogène se dégagent séparément de l'eau. L'oxygène d'une portion de l'eau est attiré par la surface positive, en même temps que l'autre partie constituante de ce liquide, l'hydrogène, est repoussée par la même surface. Le procédé opposé a lieu à la surface négative, et au milieu, c'est-à-dire dans le point neutre du circuit, soit qu'il y ait une série de décompositions et de recompositions, ou soit que les seules particules extrêmes soient actives, la matière repoussée doit entrer de nouveau en combinaison. » (Jules Gay. — Extrait du *Journal de Physique*, 2e série, t. VIII; novembre 1889.)

Sir *Humphry Davy*, l'un des plus brillants génies de l'Angleterre et de son époque, était né à Penzance (Cornouailles) en 1778; fils d'un sculpteur en bois, il perdit son père à l'âge de seize ans et entra chez un pharmacien. La lecture d'une tra-

duction anglaise du *Traité élémentaire de chimie de Lavoisier* détermina sa vocation. Ses premiers essais attirèrent l'attention du Dr Beddoës, ancien professeur de chimie à Oxford, et fondateur de l'Institut pneumatique de Clifton, près Bristol. Attaché à l'établissement du Docteur, le jeune Davy se signala bientôt par une étude approfondie du protoxyde d'azote ou gaz hilarant (1799). Aussi le comte de Rumfort, qui venait de fonder l'Institution Royale, lui confia, malgré sa jeunesse (il n'avait que vingt-trois ans), la chaire de chimie (1801). Ses leçons eurent un succès extraordinaire et le jeune professeur devint l'homme à la mode à Londres. Ses découvertes et les honneurs qu'elles lui valurent en firent bientôt l'un des hommes les plus en vue de l'Europe entière. En 1803, il est nommé membre de la Société Royale de Londres, créé baronnet en 1812, élu associé étranger de l'Institut de France en 1817, nommé président de la Société Royale de Londres en 1820 et le reste jusqu'à sa mort. De 1800 à 1809, se placent ses études sur la pile, la décomposition de l'eau, la découverte du potassium, du sodium, etc. Aussi Napoléon, au plus fort de ses luttes contre l'Angleterre en 1813, n'hésita pas à lui accorder un sauf-conduit pour venir en France avec sa femme et le jeune Faraday. Il passa six mois à Paris où il fit connaître l'iode en même temps que Gay-Lussac; puis il traversa toute la France, séjourna à Montpellier, alla en Italie où il visita Volta; passa plusieurs mois à Genève et rentra en Angleterre au commencement de 1815. Il excita chez ceux qui le virent dans ce voyage plus d'admiration que de sympathie. Dumas, qui avait trouvé à Montpellier et à Genève les souvenirs très récents et très vivants de ce voyage, en a parlé dans son éloge de Faraday, et il en contait volontiers les détails. Peut-être la hauteur orgueilleuse et le caractère difficile de Davy l'ont-ils empêché de rendre une entière justice à son éclatant génie. C'est peu après son retour en Angleterre que Davy imagina la lampe de sûreté devenue bientôt d'un usage universel dans les mines grisouteuses. Il mourut à Genève en 1829. Ses principaux ouvrages, outre les nombreux et célèbres mémoires publiés dans les *Transactions philosophiques*, et dans le *Journal de Nicholson*, sont : la *Philosophie chimique*, 1812 (dédiée à Mme Davy), traduite en français par Vans Mons, Paris, J.-B. Baillière, 2 vol. in-8, 1826, et la

Chimie agricole, 1818, traduite en français par Bulos. On a de lui aussi des poésies et des œuvres philosophiques : *Consolations in travel, or the last days of a philosopher* (Consolations en voyage, ou les derniers jours d'un philosophe). Ses œuvres complètes ont été publiées à Londres, par les soins de son frère, sous le titre : *The Collected Works of sir Humphry Davy*, edited by his Brother, John Davy. 9 volumes in-8. London, 1839-1840. — Le 1er volume est consacré à la vie et à divers opuscules inédits de Davy.

Expériences relatives à l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée [1].

Les premières expériences sur le sujet qui fait l'objet de ce Mémoire remontent aux Leçons que j'ai faites l'hiver dernier sur l'électricité, le galvanisme et le magnétisme. Leur conséquence principale est que l'aiguille aimantée est déviée de sa position d'équilibre par l'action de l'appareil voltaïque, et que cet effet se produit quand le circuit est fermé et non lorsqu'il est ouvert; c'est pour avoir laissé le circuit ouvert que de célèbres physiciens n'ont point réussi, il y a quelques années, dans des tentatives de ce genre....

Mon appareil galvanique se composait de vingt auges de cuivre rectangulaires, dont la longueur et la hauteur étaient d'environ 12 pouces, et la largeur de 2 1/2 pouces.

1. Ch. Œrsted, *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*, in-4, Hafniæ, 1820, et *Journal de Schweigger*, t. XXIX, p. 275; 1820.

Des traductions françaises de ce Mémoire ont été publiées dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XIV, p. 417-425, 1820, et dans le *Journal de Physique*, t. XCI, p. 72. — J. (*)

Œrsted (*J. Christian*), né en 1777, mort en 1851; professeur à l'Université de Copenhague, membre associé de l'Académie des sciences en 1842. — J. G.

(*) L'initiale J. désigne M. Joubert, éditeur du second et du troisième volume des mémoires publiés par la Société de Physique. — J. G.

Chaque auge est formée de deux lames de cuivre dont l'une est terminée par un appendice qui maintient la lame de zinc dans le liquide de l'auge suivante [1]. Ce liquide est de l'eau additionnée de 1/60 de son poids d'acide sulfurique et de 1/60 d'acide nitrique. La portion plongée de la lame de zinc représente un carré d'environ 10 pouces de côté. On peut d'ailleurs employer des appareils moins puissants : il suffit qu'ils puissent faire rougir un fil métallique.

On met en communication les extrémités opposées de l'appareil galvanique par un fil de métal que, pour abréger, nous appellerons le fil *conducteur* ou fil *conjonctif*; et nous donnerons aux actions dont ce conducteur et l'espace qui l'environne sont le siège le nom de *conflit électrique* [2].

Supposons qu'on tende une portion rectiligne de ce fil au-dessus d'une aiguille aimantée suspendue à la manière ordinaire et parallèlement à sa direction. On laisse d'ailleurs assez de flexibilité au fil pour que cette partie puisse être déplacée à volonté. Dans le cas actuel, l'aiguille quittera sa position, et le pôle qui se trouve sous la partie du fil conjonctif la plus voisine de l'extrémité négative de l'appareil galvanique déviera vers l'ouest.

Si la distance du fil à l'aiguille n'excède pas trois quarts de pouce, la déviation est de 45° environ. Si l'on augmente la distance, l'angle diminue à proportion. D'ailleurs, la valeur absolue de la déviation varie avec la puissance de l'appareil.

En déplaçant le fil conjonctif vers l'est ou vers l'ouest

1. C'est la disposition donnée à la pile à auges par Berzelius; la lame de cuivre forme les parois du vase qui contient le liquide. — J.

2. Le mot *conflit électrique* est ici l'équivalent du mot *courant électrique*; l'idée qu'il exprime est celle du choc des deux électricités contraires, accumulées aux extrémités de la pile, qui se précipitent l'une sur l'autre par le fil conducteur et, dans les idées d'Œrsted, par l'espace environnant. — J.

tout en le laissant parallèle à la direction de l'aiguille, on ne change rien que la grandeur de l'action ; il en résulte que l'effet observé ne peut être attribué à une attraction, car, si la déviation de l'aiguille dépendait d'attractions ou de répulsions, le même pôle qui s'approche du fil quand celui-ci est à l'est devrait s'en approcher encore quand ce fil passe à l'ouest.

Le conducteur peut être formé de plusieurs fils ou rubans réunis en faisceau. La nature du métal est indifférente, si ce n'est peut-être au point de vue de la grandeur de l'effet. Nous avons employé avec un égal succès des fils de platine, d'or, d'argent, de laiton et de fer, des bandes de plomb et d'étain et des masses de mercure. L'interposition d'une colonne d'eau dans le conducteur ne fait pas disparaître complètement l'effet, à moins que l'interruption n'ait une longueur de plusieurs pouces. L'effet du fil conjonctif sur l'aiguille aimantée a lieu au travers du verre, des métaux, du bois, de l'eau, de la résine, des vases de terre et des pierres. Des lames de verre, de métal ou de bois, interposées séparément ou simultanément entre le conducteur et l'aiguille, ne paraissent pas diminuer sensiblement l'influence de l'un sur l'autre. Il en est de même si l'on interpose le disque d'un électrophore, une lame de porphyre ou une assiette remplie d'eau. L'expérience nous a montré que l'effet est encore le même quand on place l'aiguille dans une boîte de laiton remplie d'eau.

Il est à peine nécessaire de remarquer que cette transmission d'effets au travers de ces diverses substances n'avait encore été observée ni avec l'électricité ordinaire ni avec l'électricité voltaïque. Ainsi, les effets qui se manifestent dans le conflit électrique sont très différents de ceux que peut produire l'une ou l'autre des deux électricités.

Si le fil conjonctif est disposé horizontalement sous l'aiguille, les effets sont les mêmes que lorsqu'il est au-

dessus, à cela près qu'ils sont de sens contraires; c'est-à-dire que le pôle de l'aiguille sous laquelle se trouve la partie du fil la plus voisine de l'extrémité négative de la pile dévie alors vers l'est.....

Copenhague, 21 juillet 1820.

JEAN CHRISTIAN ŒRSTED,
Chevalier de l'ordre du Danemark,
Professeur de physique à l'Université de Copenhague,
Secrétaire de la Société Royale des sciences.

(*Mémoires publiés par la Société Française de physique*. Paris, Gauthier-Villars, t. II, p. 1.)

CHAPITRE IV

AMPÈRE

Électro-magnétisme. — Électro-dynamique.

La découverte d'Œrsted bientôt connue par Ampère devint, entre ses mains, le point de départ d'une science nouvelle.

Nous emprunterons à Arago, à Dumas, à Ampère lui-même l'histoire de ces merveilleuses découvertes. Mais auparavant nous citerons une partie du discours prononcé par M. Cornu, délégué de l'Académie des sciences, professeur à l'École polytechnique, à l'inauguration de la statue d'Ampère à Lyon, le 8 octobre 1888.

A ceux qui voudraient connaître davantage la vie si profondément attachante de cet homme de génie, nous signalerons particulièrement les ouvrages suivants : VALSON, *la Vie et les Travaux d'André-Marie Ampère*. Lyon, Vitte et Perrussel, 1 vol. in-8, 1886. — *Journal et Correspondance d'André-Marie Ampère*, recueillis par Mme H. C. 1 vol. in-12. Paris, Hetzel, 1872. — *André-Marie Ampère et Jacques Ampère*; *Correspondance et Souvenirs*, recueillis par Mme H. C. 2 vol. in-12. Paris, Hetzel, 1875; — et les notices que lui ont consacrées *Arago* dans le 2e volume des *Notices historiques*, et *Sainte-Beuve*, au commencement du second volume de l'ouvrage d'Ampère intitulé : *Essai sur la philosophie des sciences*. L'auteur, dit M. Valson, « a su admirablement résumer et faire ressortir les traits essentiels du caractère de l'illustre savant. »

Il est dans l'histoire des sciences des noms dont l'éclat va grandissant avec les années à mesure que les générations comprennent davantage la grandeur et la fécondité des œuvres auxquelles ces noms sont attachés.

André-Marie Ampère est de ceux-là.

Né à Lyon, le 22 janvier 1775, votre illustre compatriote montra de bonne heure une intelligence merveilleuse jointe à une prodigieuse mémoire; il apprit tout de lui-même.

Son père, qui devait périr victime des passions sanguinaires de l'époque, témoin de son ardeur pour l'étude, empressé à la satisfaire, avait deviné son génie : « Quant à mon fils, il n'y a rien que je n'attende de lui », écrivait-il, la veille de sa mort, dans ses derniers adieux à sa femme, le 23 novembre 1793.

L'avenir justifia cette clairvoyance paternelle. C'est vers les mathématiques transcendantes qu'Ampère tourna d'abord sa vive intelligence. Son premier travail : *Considérations sur la théorie mathématique du jeu*, qui renferme la solution d'un problème difficile de calcul des probabilités, porte déjà l'empreinte d'un esprit vigoureux et profond. C'est pourtant au milieu des préoccupations les plus douloureuses d'avenir et de famille qu'il le composa, à Bourg, à l'École centrale du département de l'Ain, où il fut professeur de physique et de chimie en 1802 et 1803.

Ce premier mémoire attira vivement l'attention de Delambre, chargé avec Villar de recruter le personnel enseignant des lycées qu'on allait créer; un second travail : *Sur l'application du calcul des variations à la mécanique*, composé bientôt après, acheva de lui conquérir la protection de Delambre et le fit sortir de la situation pénible où il vivait à Bourg. On le nomma professeur de mathématiques au lycée de Lyon.

Ampère était au comble de ses vœux; il pouvait revenir auprès de son jeune enfant, Jean-Jacques, qui devait

être plus tard le spirituel académicien, et de sa femme dont la santé déclinait chaque jour.

Il revint donc plein d'espérance, mais son bonheur ne fut pas de longue durée : la mort lui ravit celle qu'il chérissait tant et le plongea dans un désespoir profond.

Le séjour de Lyon, qu'il avait si ardemment désiré, lui devint insupportable : il voulut le quitter pour fuir de tristes souvenirs et chercher ailleurs l'aliment d'une imagination ardente et toujours inquiète.

Heureusement, ses protecteurs, Lalande, Delambre et Laplace, le firent appeler à Paris comme répétiteur d'analyse à l'École polytechnique. Là, partageant son temps entre les philosophes et les mathématiciens, il reprit goût peu à peu à ses travaux et conquit bientôt l'estime du monde savant par la profondeur de ses vues, la richesse et la variété de ses conceptions.

Dès 1808, il fut nommé inspecteur général de l'Université et, en 1809, professeur à l'École polytechnique du cours d'analyse et de mécanique, dont il avait exercé souvent la suppléance.

Enfin l'Académie des sciences l'appela dans son sein, le 28 novembre 1814, comme membre de la section de géométrie.

De nouveaux mémoires, concernant les questions les plus élevées des mathématiques, en particulier l'*Intégration des équations aux dérivées partielles* (1816), le portèrent au premier rang parmi les plus grands géomètres; mais ces beaux travaux n'étaient que le prélude de découvertes plus importantes : de grand géomètre il devint physicien plus grand encore et c'est à ce titre que la postérité entoure son nom d'une brillante auréole.

Dans les premiers jours du mois de septembre 1820, l'Académie des sciences apprenait le fait le plus curieux qu'on eût découvert en électricité depuis les travaux de

Galvani et de Volta; un physicien danois, Œrsted, avait trouvé que le fil conjonctif des pôles d'une pile voltaïque agissait sur l'aiguille aimantée; l'action, il est vrai, paraissait bizarre, et le savant danois avait un peu obscurci la netteté de l'expérience par les explications singulières qu'il tenait à y mêler.

Quelques jours après, Ampère vient compléter cette belle découverte en précisant toutes les conditions de l'expérience : le premier, il définit le *courant électrique*, lui donne une direction, le personnifie et résume le phénomène en une règle justement célèbre : *le pôle austral est dévié à la gauche du courant*; l'électro-magnétisme était constitué. Mais ce n'est pas tout : avec une rare perspicacité, Ampère signale dans ces mouvements de l'aiguille d'Œrsted la solution d'un grand problème, entrevue souvent depuis près d'un siècle par les physiciens de tout pays; ces mouvements de l'aiguille sont des signaux pouvant représenter des lettres et le fil conjonctif prolongé doit les transmettre instantanément à toute distance : la télégraphie électrique est définitivement inventée.

Désormais, Ampère applique toute la puissance de son esprit à l'étude de l'électro-magnétisme; à chaque séance de l'Académie il apporte des découvertes nouvelles : la sagacité du physicien n'a d'égale que sa fécondité.

Coup sur coup, il annonce la réciprocité de l'action des aimants sur les courants, la direction d'un courant mobile par le magnétisme terrestre, l'action réciproque des courants, créant ainsi une nouvelle branche de science, l'*électro-dynamique*, et finalement l'identification des courants et des aimants.

Ce fut, en quelques semaines, une véritable révolution dans la physique : le magnétisme, qu'on s'efforçait de séparer de l'électricité, cessait d'être un agent distinct : les propriétés magnétiques, singulier apanage du fer et

de l'acier, devenaient un phénomène général commun aux conducteurs de toute nature. Ampère découvre en même temps la forme à donner à ces conducteurs pour reproduire le plus fidèlement possible les propriétés des aimants : c'est le cylindre électro-dynamique, ou solénoïde, qu'on réalise en pliant un fil métallique en hélice à spires serrées; traversée par un courant, l'hélice présente à ses deux extrémités des pôles de noms contraires; suspendue librement, elle marque le nord comme une boussole, et tant que le courant l'anime, rien ne la distingue d'un véritable aimant.

Il ne restait plus qu'un pas à faire pour arriver à l'organe électrique, dont l'invention aura les conséquences les plus extraordinaires dans la science et l'industrie.

Ce grand pas, Ampère et Arago le franchirent dans l'expérience mémorable où les deux illustres amis eurent l'idée d'introduire un barreau de fer doux dans l'hélice électro-dynamique. L'électro-aimant était inventé!

Nulle invention, depuis celle de l'imprimerie, n'eut plus d'influence dans le monde que celle de l'électro-aimant; c'est lui l'organe essentiel de toutes les applications électriques, c'est par lui que tous les progrès ont été accomplis.

Si l'électricité est la messagère rapide et fidèle de la société moderne, si cet agent mystérieux rend les services les plus extraordinaires et les plus variés par le télégraphe, le téléphone, par ces machines puissantes qui semblent avoir enchaîné la foudre; si d'un bout du monde à l'autre nous pouvons transmettre la pensée, la parole même, ainsi que la lumière et la force, c'est à l'électro-aimant, c'est, en définitive, au solénoïde d'Ampère que nous le devons, car il est là, partout où s'accomplit l'un de ces prodiges!

Voilà les riches moissons que le génie de votre compatriote nous a permis de recueillir; mais son œuvre ne s'est pas bornée à préparer ces applications dont nos

générations sont si friandes; dans des régions plus élevées, moins accessibles aux regards de la foule, dans le domaine des lois mathématiques qui président aux phénomènes, Ampère a semé le germe de richesses plus grandes encore et que l'avenir fait lentement fructifier; il a, par un effort inouï de puissance et de sagacité, arraché à la nature un de ses plus difficiles secrets en découvrant la loi élémentaire qui régit toutes les actions mécaniques produites par l'électricité.

Lorsque Arago, voulant peindre l'admiration qu'il ressentait pour l'œuvre de son ami, s'écriait devant l'Académie des sciences : « On dit les lois de Kepler, on dira les lois d'Ampère », il entrevoyait le jugement de la postérité.

Mais le témoignage suprême d'admiration lui est venu de l'étranger, de la patrie de Davy et de Faraday; un illustre savant anglais, Maxwell, a osé dire : Ampère est le Newton de l'électricité!

Le nom de notre grand physicien méritait donc à tous égards de devenir populaire; il l'est devenu, en effet, depuis le jour où, par un hommage délicat à la mémoire des grands hommes qui ont le plus contribué au progrès de la science électrique, Volta, Ohm, Ampère, Faraday, Coulomb, les électriciens de tous pays, réunis en Congrès, ont décidé que ces noms serviraient à désigner les unités diverses; et depuis, dans le monde entier, le nom d'Ampère, synonyme d'unité de courant, est prononcé par des milliers de bouches dans les laboratoires des savants et jusque dans les plus modestes ateliers....

Ce profond penseur, ce génie universel, le plus souvent absorbé dans ses méditations et planant si haut au-dessus des misères terrestres, aurait eu le droit de porter avec orgueil l'éclat de son immense savoir et la gloire de ses découvertes incomparables; il fut au contraire modeste, timide jusqu'à la gaucherie, bon et affec-

tueux comme les âmes simples, et, comme elles, subit toutes les vicissitudes humaines.

Après la mort affreuse de son père, qui plongea sa jeunesse dans un désespoir où sa belle intelligence parut sombrer un instant, il revint peu à peu à la vie pour s'épanouir bientôt dans des rêves de poésie et de tendresse. Lui-même a tracé jour par jour, sur des pages à demi couvertes d'algèbre, le récit naïf des émotions de son cœur de vingt ans, idylle charmante couronnée en août 1799 par son mariage avec Mlle Julie Carron.

Le même charme de tendresse et de dévouement se retrouve dans les lettres qu'il écrivait à sa femme presque mourante et restée à Lyon avec son fils Jean-Jacques.

Le cœur se serre à la lecture de ces pages touchantes en voyant celui qui devait être le grand Ampère obligé de s'exiler à Bourg et de consumer misérablement les plus belles années de sa jeunesse pour gagner le pain quotidien de deux êtres chéris; après cette douloureuse épreuve, quand le bonheur semblait lui sourire, survint, en juillet 1803, la mort de celle qu'il avait tant aimée; puis une nostalgie profonde, après son départ de Lyon; les déchirements d'une seconde union dans laquelle il avait été engagé en 1807; les angoisses d'une âme ardente, passionnée pour l'absolu, cherchant tour à tour dans la théologie et la métaphysique un repos qui le fuyait sans cesse. Enfin, à toutes ces inquiétudes s'ajouta celle d'une santé altérée; un séjour de quelques mois dans le Midi parut lui rendre les forces, mais ce fut pour peu d'années; il reprit, non sans de lugubres pressentiments, ses tournées d'inspection générale et s'éteignit à Marseille le 10 juin 1836.

En rapprochant l'œuvre d'Ampère du triste tableau de sa vie intime, on se demande comment tant d'admirables travaux ont été accomplis et quelle force d'âme il a fallu à ce prodigieux génie pour pouvoir, malgré les amer-

tumes dont il fut abreuvé, élever si haut ses pensées dans les régions sereines de la science [1]. (CORNU, *Discours prononcé à l'inauguration de la statue d'Ampère à Lyon*, *le 8 octobre 1888*.)

Les découvertes d'Ampère.

La découverte d'Œrsted arriva à Paris par la Suisse. Dans la séance hebdomadaire du lundi 11 septembre 1820, un académicien [2], qui venait de Genève, répéta devant vous les expériences du savant danois. Sept jours après, le 18 septembre, Ampère vous apportait déjà un fait beaucoup plus général que celui du physicien de Copenhague. Dans un si court intervalle de temps, il avait deviné que deux fils conjonctifs, que deux fils parcourus par des courants électriques, agiraient l'un sur l'autre; il avait imaginé des dispositions extrêmement ingénieuses pour rendre ces fils mobiles, sans que les extrémités de chacun d'eux eussent à se détacher des pôles respectifs de leurs piles; il avait réalisé, transformé ces conceptions en instruments susceptibles de fonctionner; il avait, enfin, soumis son idée capitale à une expérience décisive. Je ne sais si le vaste champ de la physique offrit jamais une si belle découverte, conçue, faite et complétée avec tant de rapidité.

Cette brillante découverte d'Ampère, en voici l'énoncé : Deux fils conjonctifs parallèles s'attirent quand l'électricité les parcourt dans le même sens; ils se repoussent, au contraire, si les courants électriques s'y meuvent en sens opposés.

1. C'est qu'il avait, après des années de doute et de lutte, retrouvé la plénitude et la simplicité de la foi et de la pratique catholique. — Voir VALSON, *Ampère* et *Correspondance et souvenirs*, t. I, p. 103 et *passim*. — J. G.

2. C'est Arago lui-même. Voir *Mémoires publiés par la Soc. française de physique*, t. II, p. 61. — J. G.

Ces singulières attractions et répulsions n'exigent pas que les fils sur lesquels on opère appartiennent à deux pôles différents. En pliant et repliant un seul fil conjonctif, on peut faire en sorte que deux de ses portions en regard soient traversées par le courant électrique, ou dans le même sens, ou dans des sens opposés. Les phénomènes sont alors absolument identiques à ceux qui résultent des courants provenant de deux sources distinctes.

Dès leur naissance, les phénomènes d'Œrsted avaient été justement appelés électro-magnétiques. Ceux d'Ampère, puisque l'aimant n'y joue aucun rôle direct, durent prendre le nom plus général de phénomènes électro-dynamiques....

Puis Ampère chercha avec ardeur une théorie claire, rigoureuse, mathématique qui comprît dans un lien commun les phénomènes électro-dynamiques devenus très nombreux et très variés. La recherche était hérissée de difficultés de tout genre. Ampère les surmonta par des méthodes où brille à chaque pas le génie de l'invention.

Ces méthodes resteront comme un des plus précieux modèles dans l'art d'interroger la nature, de saisir au milieu des formes complexes des phénomènes, les lois simples dont ils dépendent.

Éblouies par l'éclat, la grandeur, la fécondité de la loi de l'attraction universelle, cette immortelle découverte de Newton, les personnes peu au courant des connaissances mathématiques s'imaginent que, pour faire rentrer ainsi les mouvements planétaires dans le domaine de l'analyse, il a fallu surmonter des obstacles mille fois supérieurs à ceux que rencontre le géomètre moderne quand, lui aussi, il veut, à l'aide du calcul, suivre dans toutes leurs ramifications les divers phénomènes découverts et étudiés par les physiciens. Cette opinion, quelque générale qu'elle soit, n'en est pas moins une erreur. La

petitesse des planètes, si on les compare au soleil, l'immensité des distances, la forme à peu près sphérique des corps célestes, l'absence de toute matière capable d'opposer une résistance sensible dans les vastes régions où les orbites elliptiques se développent, sont autant de circonstances qui simplifiaient extrêmement le problème, et le faisaient presque rentrer dans les abstractions de la mécanique rationnelle. Si, au lieu de mouvements de planètes, je veux dire de corps très éloignés pouvant être censés réduits à de simples points, on n'avait eu pour guide que les phénomènes d'attraction de polyèdres irréguliers, agissant l'un sur l'autre à de petites distances, les lois de la pesanteur universelle resteraient peut-être encore à découvrir.

Ce peu de mots suffira pour faire entrevoir les obstacles réels qui rendent les progrès de la physique mathématique si lents; on ne s'étonnera plus d'apprendre que la propagation du son ou des vibrations lumineuses, que le mouvement des ondes légères qui rident la surface d'un liquide, que les courants atmosphériques déterminés par des inégalités de pression et de température, etc., sont beaucoup plus difficiles à calculer que la course majestueuse de Jupiter, de Saturne ou d'Uranus.

Parmi les phénomènes de la physique terrestre, ceux qu'Ampère se proposait de débrouiller étaient certainement au nombre des plus complexes. Les attractions, les répulsions observées entre des fils conjonctifs, résultent des attractions ou des répulsions de toutes leurs parties. Or le passage du total à la détermination des éléments nombreux et divers qui le composent, en d'autres termes, la recherche de la manière dont varient les actions mutuelles de deux parties infiniment petites de deux courants, quand on change leurs distances et leurs inclinaisons relatives, offrait des difficultés inusitées.

Toutes ces difficultés ont été vaincues. Les quatre états d'équilibre à l'aide desquels l'auteur a débrouillé les phé-

nomènes s'appelleront les lois d'Ampère, comme nous donnons le nom de lois de Kepler aux trois grandes conséquences que ce génie supérieur déduisit des observations de Tycho.

Les oscillations dont Coulomb tira un si grand parti dans la mesure des petites forces magnétiques ou électriques, exigent impérieusement que les corps en expérience soient suspendus à un fil *unique* et sans torsion. Le fil conjonctif ne peut se trouver dans cet état, puisque, sous peine de perdre toute vertu, il doit être en communication permanente avec les deux pôles de la pile.

Les oscillations donnent des mesures précises, mais à la condition expresse d'être nombreuses : les fils conjonctifs d'Ampère ne pourraient manquer d'arriver au repos après un très petit nombre d'oscillations.

Le problème paraissait vraiment insoluble, lorsque notre confrère vit qu'il arriverait au but en observant divers états d'équilibre entre des fils conjonctifs de certaines formes placés les uns devant les autres. Le choix de ces formes était la chose capitale ; c'est en cela surtout que le génie d'Ampère va se manifester d'une manière éclatante.

Il enveloppe d'abord de soie deux portions égales d'un même fil conjonctif fixe ; il plie ce fil de manière que ses deux portions recouvertes viennent se juxtaposer, et soient traversées en sens contraire par le courant d'une certaine pile ; il s'assure que ce système de deux courants égaux, mais inverses, n'exerce aucune action sur le fil conjonctif le plus délicatement suspendu, et prouve ainsi que la force attractive d'un courant électrique donné est parfaitement égale à la force de répulsion qu'il exerce quand le sens de sa marche se trouve mathématiquement renversé.

Ampère suspend ensuite un fil conjonctif très mobile, justement au milieu de l'intervalle compris entre deux fils conjonctifs fixes qui, étant traversés dans le même

sens par un seul et même courant, doivent tous deux repousser le fil intermédiaire. L'un de ces fils fixes est droit, l'autre est plié, contourné, présente cent petites sinuosités. Établissons les communications nécessaires au jeu des courants, et le fil mobile intermédiaire s'arrêtera au milieu de l'intervalle des fils fixes, et si vous l'en écartez, il y reviendra de lui-même : tout est donc égal de part et d'autre. Un fil conjonctif droit et un fil conjonctif sinueux, quoique leurs longueurs développées puissent être très différentes, exercent donc des actions exactement égales s'ils ont des extrémités communes.

Dans une troisième expérience, Ampère constate qu'un courant fermé quelconque ne peut faire tourner une portion circulaire de fil conjonctif autour d'un axe perpendiculaire à cet arc et passant par son centre.

La quatrième et dernière expérience fondamentale de notre confrère offre un cas d'équilibre où figurent trois circuits circulaires suspendus, dont les centres sont en ligne droite et les rayons en proportion géométrique continue.

Notre confrère s'est servi de ces quatre lois pour déterminer ce qu'il avait laissé d'arbitraire dans la formule analytique la plus générale possible qu'on pût imaginer, pour exprimer l'action mutuelle de deux éléments infiniment petits de deux courants électriques.

Une comparaison savante de la formule générale avec l'observation des quatre cas d'équilibre, montre que l'action réciproque des éléments de deux courants s'exerce suivant la ligne qui unit leurs centres; qu'elle dépend de l'inclinaison mutuelle de ces éléments, et qu'elle varie d'intensité dans le rapport inverse des carrés des distances.

Grâce aux profondes recherches d'Ampère, la loi qui régit les mouvements célestes, la loi que Coulomb étendit aux phénomènes d'électricité de tension ou stationnaire, et même, quoique avec moins de certitude, aux phéno-

mènes magnétiques, devient un des traits caractéristiques des actions exercées par l'électricité en mouvement.

La formule générale qui donne la valeur des actions mutuelles des éléments infiniment petits de courants, une fois connue, la détermination des actions totales de courants finis de diverses formes devenait un simple problème d'analyse différentielle; Ampère ne pouvait manquer de poursuivre ces applications de sa découverte. Il chercha d'abord comment un courant rectiligne agit sur un système de courants circulaires fermés, contenus dans des plans perpendiculaires au courant rectiligne. Le résultat du calcul, confirmé par l'expérience, fut que les plans des courants circulaires devaient, en les supposant mobiles, aller se ranger parallèlement au courant rectiligne. Si une aiguille aimantée avait sur toute sa longueur de semblables courants transversaux, la direction en croix, qui, dans les expériences d'Œrsted, complétées par Ampère, paraissait une inexplicable anomalie, deviendrait un fait naturel et nécessaire. Voit-on quelle mémorable découverte ce serait, d'établir rigoureusement, qu'aimanter une aiguille, c'est exciter, c'est mettre en mouvement, autour de chaque molécule de l'acier, un petit tourbillon électrique circulaire? Ampère sentait parfaitement l'immense portée de l'assimilation ingénieuse qui s'était emparée de son esprit; aussi s'empressa-t-il de la soumettre à des épreuves expérimentales et à des vérifications numériques, les seules que, de nos jours, on regarde comme entièrement démonstratives.

Il semble bien difficile de créer un faisceau de courants circulaires fermés qui jouisse d'une grande mobilité; Ampère se borna à imiter cette composition et cette forme, en faisant circuler un seul courant électrique dans un fil enveloppé de soie et plié en hélice à spires très serrées. La ressemblance entre les effets de cet appareil et ceux d'un aimant fut très grande, et encouragea l'illustre aca-

démicien à se livrer au calcul difficile, minutieux, des actions des circuits fermés parfaitement circulaires.

En partant de l'hypothèse que de pareils circuits existent autour des particules des corps aimantés, Ampère retrouva, quant aux actions élémentaires, les lois de Coulomb. Ces lois, maniées avec la plus grande habileté par un illustre géomètre, ont expliqué tous les faits connus de la science magnétique; l'hypothèse d'Ampère les représente donc avec une égale exactitude.

La même hypothèse, enfin, appliquée à la recherche de l'action qu'un fil conjonctif rectiligne exerce sur une aiguille aimantée, conduit analytiquement à la loi que M. Biot a déduite d'expériences extrêmement délicates.

Si, avec la presque unanimité des anciens physiciens, on veut considérer l'acier comme composé de molécules solides dans chacune desquelles existent deux fluides de propriétés contraires, fluides combinés et se neutralisant quand le métal n'est point magnétique, fluides séparés plus ou moins quand l'acier est plus ou moins aimanté, la théorie satisfera, jusque dans les particularités numériques les plus subtiles, à tout ce qu'on connaît aujourd'hui du magnétisme ordinaire. Cette théorie seulement est muette, relativement à l'action d'un aimant sur un fil conjonctif, et plus encore, s'il est possible, quant à l'action que deux de ces fils exercent l'un sur l'autre.

Si, au contraire, nous prenons, avec Ampère, l'action de deux courants pour le fait primordial, les trois classes de phénomènes dépendront d'un principe, d'une cause unique. L'ingénieuse conception de notre confrère possède ainsi deux des caractères les plus saillants des vraies lois de la nature : la simplicité et la fécondité.

Dans toutes les expériences magnétiques tentées avant la découverte d'Œrsted, la terre s'était comportée comme un gros aimant. On devait donc présumer qu'à la manière des aimants, elle agirait sur des courants électriques. L'expérience, cependant, n'avait pas justifié la conjec-

ture; appelant à son aide la théorie électro-dynamique et la faculté d'inventer des appareils, qui s'était révélée en lui d'une manière si éclatante, Ampère eut l'honneur de combler l'inexplicable lacune.

Pendant plusieurs semaines, les physiciens nationaux et étrangers purent se rendre en foule dans un humble cabinet de la rue des Fossés-Saint-Victor, et y voir avec étonnement un fil conjonctif de platine qui s'orientait par l'action du globe terrestre.

Qu'eussent dit Newton, Halley, Dufay, Æpinus, Franklin, Coulomb, si quelqu'un leur avait annoncé qu'un jour viendrait où, à défaut d'aiguille aimantée, des navigateurs pourraient se diriger en observant des courants électriques, des fils électrisés?

L'action de la terre sur un fil conjonctif est identique, dans toutes les circonstances qu'elle présente, avec celle qui émanerait d'un faisceau de courants ayant son siège dans le sein de la terre, au sud de l'Europe, et dont le mouvement s'opérerait, comme la révolution diurne du globe, de l'ouest à l'est.

Qu'on ne dise donc pas que les lois des actions magnétiques étant les mêmes dans les deux théories, il est indifférent d'adopter l'une ou l'autre. Supposez la théorie d'Ampère vraie, et la terre, dans son ensemble, est véritablement une vaste pile voltaïque, donnant lieu à des courants dirigés comme le mouvement diurne; et le mémoire où se trouve ce magnifique résultat, va prendre rang, sans désavantage, à côté des immortels travaux qui ont fait de notre globe une simple planète, un ellipsoïde aplati à ses pôles, un corps jadis incandescent dans toutes ses parties, incandescent encore aujourd'hui à de grandes profondeurs, mais ne conservant plus à sa surface aucune trace appréciable de cette chaleur d'origine. (ARAGO, *Notices biographiques*, t. II, p. 57 et suiv.)

La découverte d'Œrsted. La théorie du magnétisme d'Ampère.

Pendant les longues guerres de la Révolution et de l'Empire, Genève avait joué un rôle important. Son commerce, qui s'étend sur tous les pays, et les habitudes cosmopolites de sa population lui avaient conservé une foule de moyens d'information dont profitait la Revue qu'un physicien distingué, M. Pictet, publiait dans cette ville, sous le nom de *Bibliothèque Britannique*. C'est par elle que les travaux des savants anglais pénétraient alors sur le continent, et pendant longtemps encore, au retour de la paix, l'influence personnelle des hommes éminents qui concouraient à la rédaction de ce recueil lui avait conservé le monopole des premières informations de l'étranger. C'est ainsi qu'Arago, se trouvant à Genève en 1820, eut la bonne fortune d'y apprendre la grande découverte d'Œrsted : l'action que le courant électrique de la pile de Volta exerce sur l'aiguille aimantée, c'est-à-dire la plus admirable des nouveautés. Jusqu'alors, on savait, en effet, qu'une matière peut agir sur une autre matière, s'y unir ou s'en séparer, en changer l'aspect et les propriétés, phénomènes qui constituent une partie essentielle de la chimie; mais on n'avait jamais vu un fluide impondérable agir sur un autre fluide impondérable. La lumière ne troublait pas la chaleur dans sa marche; ni l'une ni l'autre n'agissaient sur l'électricité. Œrsted annonçait, cependant, que le fluide électrique pouvait agir sur le fluide magnétique. Une science nouvelle et les plus merveilleuses applications, dont la télégraphie électrique n'est qu'un exemple, allaient sortir de ce germe fécond. Tous ceux qui assistèrent à la constatation de cet événement extraordinaire furent profondément émus, et nul ne contredit aux paroles prononcées avec gravité par Pierre Prévost, l'auteur de la théorie de

l'équilibre mobile du calorique rayonnant : *Novus rerum nascitur ordo.*

Voici en quels termes, à son retour à Paris, Arago raconte cet événement : « M. le professeur de La Rive, de Genève, qui a découvert lui-même des phénomènes extrêmement curieux avec les puissantes piles qu'il possède, ayant bien voulu me permettre d'assister à la vérification qu'il a faites des expériences de M. Œrsted, devant MM. Prévost, Pictet, Th. de Saussure, Marcet, de Candolle, etc., j'ai pu me convaincre de l'exactitude des résultats principaux donnés par le savant danois ». Seul survivant, je pense, des témoins de cette scène historique, où je figurais parmi les *et cœtera* d'Arago, j'ai conservé le souvenir des impressions éprouvées par les assistants. Arrivés presque tous, avec la conviction qu'Œrsted avait été dupe de quelque illusion, ils voyaient l'aiguille aimantée obéir à l'action du courant électrique, marcher dans un sens quand le fil conducteur de la pile était placé au-dessus d'elle, en sens contraire lorsqu'on le plaçait au-dessous. Ils reconnaissaient que ces effets ne pouvaient être attribués à aucune agitation extérieure; qu'ils se produisaient dans le vide de la machine pneumatique, tout comme au milieu de l'air, et qu'ils cessaient lorsque, à l'aiguille aimantée, on substituait une règle de bois.

Ampère s'empara de cette donnée avec une véritable fougue. Après en avoir deviné les conséquences par la seule force de la pensée, il les matérialisait sur l'heure, en mettant à profit toutes les ressources de la mécanique pratique. L'admiration de Gaspard de La Rive était sans bornes pour ces découvertes rapides, se succédant de semaine en semaine. A peine l'Académie des sciences de Paris avait-elle reçu la communication de quelque nouvelle expérience d'Ampère, que les ateliers d'horlogerie de Genève avaient reproduit les appareils délicats imaginés par l'illustre physicien français, en avaient varié

les formes et en avaient mis la construction à la portée des moindres laboratoires.

Dès la première nouvelle de la découverte d'Œrsted, Ampère en avait donné l'explication. L'ancienne électricité des machines de verre était un fluide en repos : c'était l'électricité statique. L'électricité de la pile de Volta était ce même fluide en mouvement, dans le sens de l'axe des conducteurs : c'était l'électricité dynamique. Dans l'aimant, ce même fluide tournait autour des molécules du fer ou de l'acier dans un plan perpendiculaire à l'axe qui en réunit les deux pôles : c'était le magnétisme. On matérialisait encore les forces : l'eau qui mouille la surface d'un corps solide nous représentait l'électricité statique; l'eau qui marche dans les tuyaux de conduite, l'électricité dynamique; l'eau qui parcourt les circuits d'une vis d'Archimède, le magnétisme.

Le 4 septembre 1820, Arago annonçait à l'Académie les faits dont il venait d'être témoin à Genève; le 25 septembre, Ampère lisait, devant ses confrères, l'immortel mémoire où il en établit les lois, et les rendait témoins de son expérience fondamentale, démontrant que deux courants voltaïques, dirigés dans le même sens, s'attirent, et qu'ils se repoussent lorsqu'ils sont dirigés en sens contraire; phénomène qu'il avait prévu, prédit et constaté. A cet éclatant contrôle de sa théorie, il en ajoutait bientôt un autre. Il imitait un aimant par un courant voltaïque dirigé à travers un fil de métal plié en rectangle et librement suspendu dans un plan vertical. Ce rectangle obéissait à l'action de la terre comme l'aiguille aimantée, ce qu'Ampère expliquait en disant que la branche horizontale inférieure, c'est-à-dire la plus rapprochée de la terre, entraînait tout le système. Or, Gaspard de la Rive ayant supprimé cette branche directrice, le reste du fil continuait à se mouvoir sous l'influence terrestre, tout comme le rectangle entier.

L'explication d'Ampère s'évanouissait donc, et sa

théorie de l'aimant, fort combattue encore, perdait son meilleur appui. Il est impossible de se représenter jusqu'où était portée, en pareille circonstance, la contention de son esprit. On voyait alors cet homme qu'on appelait distrait, isolé, pendant de longues heures, dans une méditation profonde, traversant, au milieu des siens, ses occupations ou les devoirs de la vie dans une sorte de somnambulisme; oubliant tout, jusqu'au moment où la vérité, se faisant jour, le délivrait de cette obsession. Le jeune étudiant, Auguste de la Rive, lui vint en aide; reprenant le sujet, il supprima successivement les divers côtés du rectangle, et le réduisit, enfin, à un fil vertical librement suspendu, qui, traversé par le courant voltaïque, n'en obéissait pas moins à l'action de la terre avec docilité, comme le rectangle entier. Ces expériences délicates, exécutées avec une grande précision, devinrent l'objet d'un examen approfondi de la part d'Ampère, venu à Présinge, campagne matrimoniale des de la Rive, pour en être témoin et pour en chercher l'explication, qu'il ne tarda point à trouver. Le mémoire du jeune physicien contient à la fois, en effet, les nouveaux résultats qu'il avait obtenus et la formule savante et définitive, par laquelle Ampère les rattache à sa théorie, désormais complète et triomphante. (DUMAS, *Discours et Éloges académiques*, t. I, p. 259 : *Éloge d'Aug. de la Rive*.)

Nous citerons maintenant quelques passages soit des mémoires, soit de la correspondance d'Ampère; ils donneront une idée à la fois du savant de génie, et de l'homme si passionné, si aimant et en même temps si humble. Ces extraits de la correspondance font en outre assister le lecteur en quelque sorte au travail d'Ampère.

De l'action exercée sur un courant électrique par un autre courant, le globe terrestre ou un aimant [1],

Par M. A. Ampère.

§ I. — *De l'action mutuelle de deux courants électriques.*

L'action électromotrice se manifeste par deux sortes d'effets que je crois devoir d'abord distinguer par une définition précise.

J'appellerai le premier *tension électrique*, le second *courant électrique*.

Le premier s'observe lorsque les deux corps entre lesquels l'action électromotrice a lieu sont séparés l'un de l'autre [2] par des corps non conducteurs dans tous les points de leur surface autres que ceux où elle est établie; le second est celui où ils font, au contraire, partie d'un circuit de corps conducteurs qui les font communiquer par des points de leur surface différents de ceux où se produit l'action électromotrice [3]. Dans le premier cas, l'effet de cette action est de mettre les deux corps ou les deux systèmes de corps entre lesquels elle a lieu dans deux états de tension dont la différence est constante lorsque cette action est constante, lorsque, par exemple, elle est produite par le contact de deux substances de

1. *Annales de Chimie et de Physique* [2], t. XV, p. 59-76 et 170-218; *Recueil d'observations électrodynamiques*, p. 1-68.

Ce Mémoire renferme le résumé des lectures faites par Ampère à l'Académie les 18 et 25 septembre, les 9, 16 et 30 octobre et le 6 novembre 1820. — J.

2. Quand cette séparation a lieu par la simple interruption des corps conducteurs, c'est encore par un corps non conducteur, par l'air, qu'ils sont séparés.

3. Ce cas comprend celui où les deux corps ou systèmes de corps entre lesquels a lieu l'action électromotrice seraient en communication complète avec le réservoir commun qui ferait alors partie du circuit.

nature différente ; cette différence serait variable, au contraire, avec la cause qui la produit, si elle était due à un frottement ou à une pression.

Ce premier cas est le seul qui puisse avoir lieu lorsque l'action électromotrice se développe entre les diverses parties d'un même corps non conducteur ; la tourmaline en offre un exemple quand elle change de température.

Dans le second cas, il n'y a plus de tension électrique, les corps légers ne sont plus sensiblement attirés, et l'électromètre ordinaire ne peut plus servir à indiquer ce qui se passe dans le corps ; cependant l'action électromotrice continue d'agir ; car si de l'eau, par exemple, un acide, un alcali ou une dissolution saline font partie du circuit, ces corps sont décomposés, surtout quand l'action électromotrice est constante, comme on le sait depuis longtemps ; et en outre, ainsi que M. Œrsted vient de le découvrir, quand l'action électromotrice est produite par le contact des métaux, l'aiguille aimantée est détournée de sa direction lorsqu'elle est placée près d'une portion quelconque du circuit ; mais ces effets cessent, l'eau ne se décompose plus, et l'aiguille revient à sa position ordinaire dès qu'on interrompt le circuit, que les tensions se rétablissent et que les corps légers sont de nouveau attirés, ce qui prouve bien que ces tensions ne sont pas cause de la décomposition de l'eau, ni des changements de direction de l'aiguille aimantée découverts par M. Œrsted.

Ce second cas est évidemment le seul qui pût avoir lieu si l'action électromotrice se développait entre les diverses parties d'un même corps conducteur. Les conséquences déduites, dans ce Mémoire, des expériences de M. Œrsted nous conduiront à reconnaître l'existence de cette circonstance dans le seul cas où il y ait lieu jusqu'à présent de l'admettre.

Voyons maintenant à quoi tient la différence de ces deux ordres de phénomènes entièrement distincts, dont

l'un consiste dans la tension et les attractions ou répulsions connues depuis longtemps, et l'autre dans la décomposition de l'eau et d'un grand nombre d'autres substances, dans les changements de direction de l'aiguille, et dans une sorte d'attractions ou de répulsions toutes différentes des attractions et répulsions électriques ordinaires, que je crois avoir reconnues le premier, et que j'ai nommées *attractions et répulsions des courants électriques*, pour les distinguer de ces dernières. Lorsqu'il n'y a pas continuité de conducteurs d'un des corps ou des systèmes de corps entre lesquels se développe l'action électromotrice à l'autre, et que ces corps sont eux-mêmes conducteurs, comme dans la pile de Volta, on ne peut concevoir cette action que comme portant constamment l'électricité positive dans l'un et l'électricité négative dans l'autre : dans le premier moment, où rien ne s'oppose à l'effet qu'elle tend à produire, les deux électricités s'accumulent chacune dans la partie du système total vers laquelle elle est portée; mais cet effet s'arrête dès que la différence des tensions électriques [1] donne à leur attraction mutuelle, qui tend à les réunir, une force suffisante pour faire équilibre à l'action électromotrice. Alors tout reste dans cet état, sauf la déperdition d'électricité qui peut avoir lieu peu à peu à travers le corps non conducteur, l'air, par exemple, qui interrompt le circuit; car il paraît qu'il n'existe pas de corps qui soit absolument isolant. A mesure que cette déperdition a lieu, la tension diminue; mais comme, dès qu'elle est moindre, l'attraction mutuelle des deux électricités cesse de faire équilibre à l'action électromotrice, cette dernière force, dans le cas où elle est constante, porte de nouveau de l'élec-

1. Quand la pile est isolée, cette différence est la somme des deux tensions, l'une positive, l'autre négative : quand une de ses extrémités communiquant avec le réservoir commun a une tension nulle, la même différence a une valeur absolue égale à celle de la tension à l'autre extrémité.

tricité positive d'un côté et de l'électricité négative de l'autre, et les tensions se rétablissent. C'est cet état d'un système de corps électro-moteurs et conducteurs que je nomme *tension électrique*. On sait qu'il subsiste dans les deux moitiés de ce système, soit lorsqu'on vient à les séparer, soit dans le cas même où elles restent en contact après que l'action électromotrice a cessé, pourvu qu'alors elle ait eu lieu par pression ou par frottement entre des corps qui ne soient pas tous deux conducteurs. Dans ces deux cas, les tensions diminuent graduellement à cause de la déperdition d'électricité dont nous parlions tout à l'heure.

Mais lorsque les deux corps ou les deux systèmes de corps entre lesquels l'action électromotrice a lieu sont d'ailleurs en communication par des corps conducteurs entre lesquels il n'y a pas une autre action électromotrice égale et opposée à la première, ce qui maintiendrait l'état d'équilibre électrique, et par conséquent les tensions qui en résultent, ces tensions disparaissent ou du moins deviennent très petites, et il se produit les phénomènes indiqués ci-dessus comme caractérisant ce second cas. Mais comme rien n'est d'ailleurs changé dans l'arrangement des corps entre lesquels se développait l'action électromotrice, on ne peut douter qu'elle ne continue d'agir, et comme l'attraction mutuelle de deux électricités, mesurée par la différence des tensions électriques qui est devenue nulle, ou a considérablement diminué, ne peut plus faire équilibre à cette action, on est généralement d'accord qu'elle continue à porter les deux électricités dans les deux sens où elle les portait auparavant; en sorte qu'il en résulte un double courant, l'un d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, partant en sens opposés des points où l'action électromotrice a lieu, et allant se réunir dans la partie du circuit opposée à ces points. Les courants dont je parle vont en s'accélérant jusqu'à ce que l'inertie des fluides électriques et la résis-

tance qu'ils éprouvent par l'imperfection même des meilleurs conducteurs fassent équilibre à la force électromotrice, après quoi ils continuent indéfiniment avec une vitesse constante tant que cette force conserve la même intensité [1]; mais ils cessent toujours à l'instant où le circuit vient à être interrompu. C'est cet état de l'électricité dans une série de corps électromoteurs et conducteurs que je nommerai, pour abréger, *courant électrique*; et comme j'aurai sans cesse à parler des deux sens opposés suivant lesquels se meuvent les deux électricités, je sous-entendrai, toutes les fois qu'il en sera question, pour éviter une répétition fastidieuse, après les mots *sens du courant électrique*, ceux-ci : *de l'électricité positive*; en sorte que s'il est question, par exemple, d'une pile voltaïque, l'expression : *direction du courant électrique dans la pile* désignera la direction qui va de l'extrémité où l'hydrogène se dégage dans la décomposition de l'eau [2] à celle où l'on obtient de l'oxygène; et celle-ci : *direction du courant électrique dans le conducteur qui établit la communication entre les deux extrémités de la pile*, désignera la direction qui va, au contraire, de l'extrémité où se produit l'oxygène à celle où se développe l'hydrogène. Pour embrasser ces deux cas dans une seule définition, on peut dire que ce qu'on appelle la *direction du courant électrique* est celle que suivent l'hydrogène et les bases des sels, lorsque de l'eau ou une substance saline fait partie du circuit et est décomposée par le courant, soit, dans la pile voltaïque, que ces substances fassent partie du conducteur, ou qu'elles se trouvent interposées entre les paires dont se compose la pile.

1. Si l'on assimile le courant à un flux de matière incompressible, l'intensité est proportionnelle à la vitesse, et l'énoncé qui précède renferme implicitement la loi d'Ohm. — J.

2. Il est évident que dans tout ce passage il faut entendre la décomposition de l'eau qui se produit dans un voltamètre et non dans la pile. — J.

Les savantes recherches de MM. Gay-Lussac et Thenard sur cet appareil, source féconde des plus grandes découvertes dans presque toutes les branches des sciences physiques, ont démontré que la décomposition de l'eau, des sels, etc., n'est nullement produite par la différence de tension des deux extrémités de la pile, mais uniquement par ce que je nomme *le courant électrique*, puisqu'en faisant plonger dans l'eau pure les deux fils conducteurs la décomposition est presque nulle; tandis que quand, sans rien changer à la disposition du reste de l'appareil, on mêle à l'eau où plongent les fils un acide ou une dissolution saline, cette décomposition devient très rapide, parce que l'eau pure est un mauvais conducteur et qu'elle conduit bien l'électricité quand elle est mêlée d'une certaine quantité de ces substances....

L'électromètre ordinaire indique quand il y a tension et l'intensité de cette tension; il manquait un instrument qui fît connaître la présence du courant électrique dans une pile ou un conducteur, qui en indiquât l'énergie et la direction. Cet instrument existe aujourd'hui; il suffit que la pile ou une portion quelconque du conducteur soient placées horizontalement à peu près dans la direction du méridien magnétique, et qu'un appareil semblable à une boussole, et qui n'en diffère que par l'usage qu'on en fait, soit mis sur la pile, ou bien au-dessous ou au-dessus de cette portion du conducteur : tant qu'il y a quelque interruption dans le circuit, l'aiguille aimantée reste dans sa situation ordinaire; mais elle s'écarte de cette situation dès que le courant s'établit, d'autant plus que l'énergie en est plus grande, et elle en fait connaître la direction d'après ce fait général, que si l'on se place par la pensée dans la direction du courant, de manière qu'il soit dirigé des pieds à la tête de l'observateur et que celui-ci ait la face tournée vers l'aiguille, c'est constamment à sa gauche que l'action du courant écartera de sa position ordinaire celle de ses extrémités qui se dirige

vers le nord, et que je nommerai toujours *pôle austral de l'aiguille aimantée*, parce que c'est le pôle homologue au pôle austral de la terre. C'est ce que j'exprimerai plus brièvement en disant que le pôle austral de l'aiguille est porté à gauche du courant qui agit sur l'aiguille. Je pense que, pour distinguer cet instrument de l'électromètre ordinaire, on doit lui donner le nom de *galvanomètre*, et qu'il convient de l'employer dans toutes les expériences sur les courants électriques, comme on adapte habituellement un électromètre aux machines électriques, afin de voir à chaque instant si le courant a lieu et quelle en est l'énergie [1]....

Mais les différences que je viens de rappeler ne sont pas les seules qui distinguent ces deux états de l'électricité. J'en ai découvert de plus remarquables encore en disposant, dans des directions parallèles, deux parties rectilignes de deux fils conducteurs joignant les extré-

1. La forme de galvanomètre connue sous le nom de *multiplicateur* a été imaginée par Schweigger, en septembre 1820. Voici le renseignement que donne Schweigger lui-même sur la date de son invention (*Schweigger Journ.*, t. XXXII, p. 48, 1821) :

« Le n° 296 de l'*Allgem. Litteraturzeitung* (novembre 1820) contient le compte rendu d'une leçon de Schweigger, professée le 13 septembre 1820, où il a parlé la première fois du multiplicateur. On y lit :

« Pour rendre plus visibles les phénomènes électromagnétiques, « on peut avoir recours à un autre moyen que l'accroissement des « dimensions des batteries. Puisque le fil qui, partant du pôle « positif, passe au-dessus de l'aiguille, produit le même effet que « le fil qui, partant du pôle négatif, passe au-dessous, on a un « moyen simple d'augmenter l'action sur l'aiguille, en entourant la « boussole simultanément avec les deux fils. Le professeur a montré « à l'assistance un arrangement de cette espèce avec lequel « *l'aiguille devenait aussi sensible à l'action d'une simple pile que le* « *nerf d'une grenouille.* »

Ce n'est qu'en 1823 que l'application du *multiplicateur* au *galvanomètre* a été connue en France : c'est Œrsted qui l'a fait connaître, pendant son séjour à Paris, par une Communication à l'Académie des sciences et une Note publiée dans les *Annales de Chimie et de Physique* [2], t. XXII, p. 358-380, 1823. — J.

mités de deux piles voltaïques; l'une était fixe, et l'autre, suspendue sur des pointes et rendue très mobile par un contrepoids, pouvait s'en approcher ou s'en éloigner en conservant son parallélisme avec la première. J'ai observé alors qu'en faisant passer à la fois un courant électrique dans chacune d'elles, elles s'attiraient mutuellement quand les deux courants étaient dans le même sens, et qu'elles se repoussaient quand ils avaient lieu dans des directions opposées.

Or, ces attractions et répulsions des courants électriques diffèrent essentiellement de celles que l'électricité produit dans l'état de repos; d'abord, elles cessent comme les décompositions chimiques, à l'instant où l'on interrompt le circuit des corps conducteurs. Deuxièmement, dans les attractions et répulsions électriques ordinaires, ce sont les électricités d'espèces opposées qui s'attirent, et celles de même nom qui se repoussent; dans les attractions et répulsions des courants électriques, c'est précisément le contraire : c'est lorsque les deux fils conducteurs sont placés parallèlement, de manière que les extrémités de même nom se trouvent du même côté et très près l'une de l'autre, qu'il y a attraction, et il y a répulsion quand, les deux conducteurs étant toujours parallèles, les courants sont en sens opposés, en sorte que les extrémités de même nom se trouvent à la plus grande distance possible. Troisièmement, dans le cas où c'est l'attraction qui a lieu et qu'elle est assez forte pour amener le conducteur mobile en contact avec le conducteur fixe, ils restent attachés l'un à l'autre comme deux aimants et ne se séparent point aussitôt, comme il arrive lorsque deux corps conducteurs qui s'attirent parce qu'ils sont électrisés, l'un positivement, l'autre négativement, viennent à se toucher. Enfin, et il paraît que cette dernière circonstance tient à la même cause que la précédente, deux courants électriques s'attirent ou se repoussent dans le vide comme dans l'air; ce qui est encore contraire à ce

qu'on observe dans l'action mutuelle de deux corps conducteurs électrisés à l'ordinaire. Il ne s'agit pas ici d'expliquer ces nouveaux phénomènes : les attractions et répulsions qui ont lieu entre deux courants parallèles, suivant qu'ils sont dirigés dans le même sens ou dans des sens opposés, sont des faits donnés par une expérience aisée à répéter....

J'avais cru d'abord qu'il faudrait établir le courant électrique dans les deux conducteurs au moyen de deux piles différentes; mais cela n'est pas nécessaire : il suffit que ces conducteurs fassent tous deux partie du même circuit; car le courant électrique y existe partout avec la même intensité. On doit conclure de cette observation que les tensions électriques des deux extrémités de la pile ne sont pour rien dans les phénomènes dont nous nous occupons; car il n'y a certainement pas de tension dans le reste du circuit. Ce qui est encore confirmé par la possibilité de faire mouvoir l'aiguille aimantée à une grande distance de la pile, au moyen d'un conducteur très long dont le milieu se recourbe dans la direction du méridien magnétique au-dessus ou au-dessous de l'aiguille. Cette expérience m'a été indiquée par le savant illustre [1] auquel les sciences physico-mathématiques doivent surtout les grands progrès qu'elles ont faits de nos jours : elle a pleinement réussi....

On conçoit, au reste, que les attractions et répulsions des courants électriques ayant lieu à tous les points du circuit, on peut avec un seul conducteur fixe attirer et repousser autant de conducteurs et faire varier la direction d'autant d'aiguilles aimantées que l'on veut : je me propose de faire construire deux conducteurs mobiles sous une même cage de verre, en sorte qu'en les rendant, ainsi qu'un conducteur fixe commun, partie d'un même circuit, ils soient alternativement tous deux attirés, tous

1. M. de Laplace. — J.

deux repoussés, ou l'un attiré, l'autre repoussé en même temps, suivant la manière dont on établira les communications. D'après le succès de l'expérience que m'a indiquée M. le marquis de Laplace, on pourrait, au moyen d'autant de fils conducteurs et d'aiguilles aimantées qu'il y a de lettres, et en plaçant chaque lettre sur une aiguille différente, établir à l'aide d'une pile placée loin de ces aiguilles, et qu'on ferait communiquer alternativement par ses deux extrémités à celles de chaque conducteur, former une sorte de télégraphe propre à écrire tous les détails qu'on voudrait transmettre, à travers quelques obstacles que ce fût, à la personne chargée d'observer les lettres placées sur les aiguilles. En établissant sur la pile un clavier dont les touches porteraient les mêmes lettres et établiraient la communication par leur abaissement, ce moyen de correspondance pourrait avoir lieu avec assez de facilité, et n'exigerait que le temps nécessaire pour toucher d'un côté et lire de l'autre chaque lettre [1].

Si le conducteur mobile, au lieu d'être assujetti à se mouvoir parallèlement à celui qui est fixe, ne peut que tourner dans un plan parallèle à ce conducteur fixe, autour d'une perpendiculaire commune passant par leurs milieux, il est clair que, d'après la loi que nous venons de reconnaître pour les attractions et répulsions des courants électriques, les deux moitiés de chaque conducteur attireront et repousseront celles de l'autre, suivant que les courants seront dans le même sens ou dans des sens opposés; et par conséquent que le conducteur mobile tournera jusqu'à ce qu'il arrive dans une situation où

1. Depuis la rédaction de ce Mémoire, j'ai su de M. Arago que ce télégraphe avait déjà été proposé par M. Sœmmering : à cela près, qu'au lieu d'observer le changement de direction des aiguilles aimantées, qui n'était point connu alors, l'auteur proposait d'observer la décomposition de l'eau dans autant de vases qu'il y a de lettres.

il soit parallèle à celui qui est fixe, et où les courants soient dirigés dans le même sens : d'où il suit que dans l'action mutuelle de deux courants électriques, l'action directrice et l'action attractive ou répulsive dépendent d'un même principe, et ne sont que des effets différents d'une seule et même action. Il n'est plus nécessaire alors d'établir entre ces deux effets la distinction qu'il est si important de faire, comme nous le verrons tout à l'heure, quand il s'agit de l'action mutuelle d'un courant électrique et d'un aimant considéré comme on le fait ordinairement par rapport à son axe, parce que, dans cette action, les deux corps tendent à se placer dans des directions perpendiculaires entre elles.

J'examinerai dans les autres paragraphes de ce Mémoire et dans le Mémoire suivant l'action mutuelle entre un courant électrique et le globe terrestre ou un aimant, ainsi que celle de deux aimants l'un sur l'autre, et je montrerai qu'elles rentrent l'une et l'autre dans la loi de l'action mutuelle de deux courants électriques que je viens de faire connaître, en concevant sur la surface et dans l'intérieur d'un aimant autant de courants électriques, dans des plans perpendiculaires à l'axe de cet aimant, qu'on y peut concevoir de lignes formant, sans se couper mutuellement, des courbes fermées; en sorte qu'il ne me paraît guère possible, d'après le simple rapprochement des faits, de douter qu'il n'y ait réellement de tels courants autour de l'axe des aimants, ou plutôt que l'aimantation ne consiste que dans l'opération par laquelle on donne aux particules de l'acier la propriété de produire, dans le sens des courants dont nous venons de parler, la même action électromotrice qui se trouve dans la pile voltaïque, dans le zinc oxydé des minéralogistes, dans la tourmaline échauffée, et même dans une pile formée de cartons mouillés et de disques d'un même métal à deux températures différentes. Seulement cette action électromotrice se développant dans le cas de

l'aimant entre les différentes particules d'un même corps bon conducteur, elle ne peut jamais, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, produire aucune tension électrique, mais seulement un courant continu semblable à celui qui aurait lieu dans une pile voltaïque rentrant sur elle-même en formant une courbe fermée : il est assez évident, d'après les observations précédentes, qu'une pareille pile ne pourrait produire en aucun de ses points ni tensions ni attractions ou répulsions électriques ordinaires, ni phénomènes chimiques, puisqu'il est alors impossible d'interposer un liquide dans le circuit; mais que le courant qui s'établirait immédiatement dans cette pile agirait, pour le diriger, l'attirer ou le repousser, soit sur un autre courant électrique, soit sur un aimant que l'on considère alors comme n'étant lui-même qu'un assemblage de courants électriques.

C'est ainsi qu'on parvient à ce résultat inattendu, que les phénomènes de l'aimant sont uniquement produits par l'électricité, et qu'il n'y a aucune autre différence entre les deux pôles d'un aimant, que leur position à l'égard des courants dont se compose l'aimant, en sorte que le pôle austral [1] est celui qui se trouve à droite de ces courants, et le pôle boréal celui qui se trouve à gauche....

La manière dont je conçois l'aimant comme un assemblage de courants électriques dans des plans perpendiculaires à la ligne qui en joint les pôles, me fit d'abord chercher à en imiter l'action par des conducteurs pliés

1. Celui qui, dans l'aiguille aimantée, se dirige du côté du nord; il est à droite des courants dont se compose l'aimant, parce qu'il est à gauche d'un courant dirigé dans le même sens et placé hors de l'aiguille. En effet, d'après la définition donnée précédemment de ce qu'on doit entendre par la droite et la gauche des courants électriques, ceux que j'admets dans l'aiguille et ceux qui sont ainsi placés, et que l'on considère comme agissant sur elle, se font face de manière que la droite des uns est à la gauche des autres, et réciproquement.

en hélice, dont chaque spire me représentait un courant disposé comme ceux d'un aimant, et ma première idée fut que l'obliquité de ces spires pouvait être négligée quand elles avaient peu de hauteur : je ne faisais pas alors attention qu'à mesure que cette hauteur diminue, le nombre des spires, pour une longueur donnée, augmente dans le même rapport, et que par conséquent, comme je l'ai reconnu plus tard, l'effet de cette obliquité reste toujours le même.

J'annonçai, dans le Mémoire lu à l'Académie le 18 septembre, l'intention où j'étais de faire construire des hélices en fil de laiton pour imiter tous les effets de l'aimant, soit d'un aimant fixe avec une hélice fixe, soit d'une aiguille aimantée avec une hélice roulée autour d'un tube de verre suspendu à son milieu sur une pointe très fine comme l'aiguille d'une boussole. J'espérais que non seulement les extrémités de cette hélice seraient attirées et repoussées comme les pôles d'une aiguille, par ceux d'un barreau aimanté, mais encore qu'elle se dirigerait par l'action du globe terrestre : j'ai réussi complètement à l'égard de l'action du barreau aimanté; mais à l'égard de la force directrice de la terre, l'appareil n'était pas assez mobile, et cette force agissait par un bras de levier trop court pour produire l'effet désiré; je ne l'ai obtenu que quelque temps après....

Il suit de ce que nous venons de dire relativement aux courants électriques dans des fils pliés en hélice, que l'action produite par le courant de chaque spire se compose de deux autres, dont l'une serait produite par un courant parallèle à l'axe de l'hélice, représenté en intensité par la hauteur de cette spire, et l'autre par un courant circulaire représenté par la section faite perpendiculairement à cet axe dans la surface cylindrique sur laquelle se trouve l'hélice; et, comme la somme des hauteurs de toutes les spires, prises parallèlement à l'axe de l'hélice, est nécessairement égale à cet axe, il s'ensuit

qu'outre l'action produite par les courants circulaires transversaux, que j'ai comparée à celle d'un aimant, l'hélice produit en même temps la même action qu'un courant d'égale d'intensité qui aurait lieu dans son axe.

Si l'on fait revenir par cet axe le fil conducteur qui forme l'hélice, en l'enfermant dans un tube de verre placé dans cette hélice pour l'isoler des spires dont elle se compose, le courant de cette partie rectiligne du fil conducteur étant en sens contraire de celui qui équivaudrait à la partie de l'action de l'hélice qui a lieu parallèlement à son axe, repoussera ce que celui-ci attirerait, et attirera ce qu'il repousserait; l'action longitudinale de l'hélice sera donc détruite par celle de la portion rectiligne du conducteur, et il ne résultera de la réunion de celui-ci avec l'hélice que la seule action des courants circulaires transversaux, parfaitement semblable à celle d'un aimant cylindrique....

Dès mes premières recherches sur le sujet dont nous nous occupons, j'avais cherché à trouver la loi suivant laquelle varie l'action attractive ou répulsive de deux courants électriques, lorsque leur distance et les angles qui déterminent leur position respective changent de valeurs. Je fus bientôt convaincu qu'on ne pouvait conclure cette loi d'expériences directes, parce qu'elle ne peut avoir une expression simple qu'en considérant des portions de courants d'une longueur infiniment petite, et qu'on ne peut faire d'expérience sur de tels courants; l'action de ceux dont on peut mesurer les effets est la somme des actions infiniment petites de leurs éléments, somme qu'on ne peut obtenir que par deux intégrations successives, dont l'une doit se faire dans toute l'étendue d'un des courants pour un même point de l'autre, et la seconde s'exécuter sur le résultat de la première pris entre les limites marquées par les extrémités du premier courant, dans toute l'étendue du second; c'est le

résultat de cette dernière intégration, pris entre les limites marquées par les extrémités du second courant, qui peut seul être comparé aux données de l'expérience....

§ III. — *De l'action mutuelle entre un conducteur électrique et un aimant.*

Les expériences que j'ai faites sur l'action mutuelle des conducteurs qui mettent en communication les extrémités d'une pile voltaïque m'ont montré que tous les faits relatifs à cette action peuvent être ramenés à deux résultats généraux, qu'on doit considérer d'abord comme uniquement donnés par l'observation, en attendant qu'on puisse les ramener à un principe unique, en déterminant la nature et, s'il se peut, l'expression analytique de la force qui les produit. Je commencerai par les énoncer sous la forme qui me paraît la plus simple et la plus générale.

Ces résultats consistent, d'une part, dans l'action directrice d'un de ces corps sur l'autre; de l'autre part, dans l'action attractive ou répulsive qui s'établit entre eux, suivant les circonstances.

Action directrice. — Lorsqu'un aimant et un conducteur agissent l'un sur l'autre, et que l'un d'eux étant fixe, l'autre ne peut que tourner dans un plan perpendiculaire à la plus courte distance du conducteur et de l'axe de l'aimant, celui qui est mobile tend à se mouvoir, de manière que les directions du conducteur et de l'axe de l'aimant forment un angle droit, et que le pôle de l'aimant qui regarde habituellement le nord soit à gauche de ce qu'on appelle ordinairement le *courant galvanique*, dénomination que j'ai cru devoir changer en celle de courant électrique, et le pôle opposé à sa droite, bien entendu que la ligne qui mesure la plus courte distance du conducteur et l'axe de l'aimant rencontre la direction de cet axe entre les deux pôles....

Dans les expériences de M. Œrsted, cette action direc-

trice se combine toujours avec celle que le globe terrestre exerce sur l'aiguille aimantée, et se combine en outre quelquefois avec l'action que je décrirai tout à l'heure sous la dénomination d'*action attractive ou répulsive*; ce qui conduit à des résultats compliqués dont il est difficile d'analyser les circonstances et de reconnaître les lois.

Pour pouvoir observer les effets de l'*action directrice* d'un courant électrique sur un aimant, sans qu'ils fussent altérés par ces diverses causes, j'ai fait construire un instrument que j'ai nommé *aiguille aimantée astatique* [1]....

La principale expérience à faire avec cet appareil est de montrer que l'angle entre les directions de l'aiguille et du conducteur est toujours droit quand l'*action directrice* est la seule qui ait lieu.

Action attractive ou répulsive. — Ce second résultat général consiste : 1° en ce qu'un conducteur joignant les deux extrémités d'une pile voltaïque, et un aimant dont l'axe fait un angle droit avec la direction du courant qui a lieu dans ce conducteur conformément aux définitions précédentes, s'attirent quand le pôle austral est à gauche du courant qui agit sur lui, c'est-à-dire quand la position est celle que le conducteur et l'aimant tendent à prendre en vertu de leur action mutuelle, et se repoussent quand le pôle austral de l'aimant est à la droite du courant, c'est-à-dire quand le conducteur et l'aimant sont maintenus dans la position opposée à celle qu'ils tendent à se donner mutuellement. On voit, par l'énoncé même de ces deux résultats, que l'action entre le conducteur et l'aimant est toujours réciproque. C'est cette réciprocité que je me suis d'abord attaché à vérifier, quoiqu'elle me parût assez évidente par elle-même; il me semble qu'il serait superflu de décrire ici les expériences que j'ai faites pour la constater : il suffit de dire qu'elles ont pleinement réussi.

1. C'est-à-dire soustraite à l'action de la terre.

Hypothèse sur le magnétisme terrestre.

La première réflexion que je fis lorsque je voulus chercher les causes des nouveaux phénomènes découverts par M. Œrsted, est que l'ordre dans lequel on a découvert deux faits ne faisant rien aux conséquences des analogies qu'ils présentent, nous pouvions supposer qu'avant de savoir que l'aiguille aimantée prend une direction constante du sud au nord, on avait d'abord connu la propriété qu'elle a d'être amenée par un courant électrique dans une situation perpendiculaire à ce courant, de manière qu'un même pôle de l'aiguille fût toujours porté à gauche du courant, et qu'on découvrît ensuite la propriété qu'elle a de tourner constamment au nord celui de ses pôles qui se portait ainsi à gauche du courant : l'idée la plus simple, et celle qui se présenterait immédiatement à celui qui voudrait expliquer cette direction constante de l'aiguille, ne serait-elle pas d'admettre dans la terre un courant électrique, dans une direction telle, que le nord se trouvât à gauche d'un homme qui, couché sur sa surface pour avoir la face tournée du côté de l'aiguille, recevrait ce courant dans la direction de ses pieds à la tête, et d'en conclure qu'il a lieu, de l'est à l'ouest, dans une direction perpendiculaire au méridien magnétique?

Cette hypothèse devient d'autant plus probable qu'on fait plus attention à l'ensemble des faits connus; ce courant, s'il existe, doit être comparé à celui que j'ai montré dans la pile agir sur l'aiguille aimantée, comme se dirigeant de l'extrémité cuivre à l'extrémité zinc, quand on établissait un conducteur entre elles, et qui aurait lieu de même si, la pile formant une courbe fermée, elles étaient réunies par un couple semblable aux autres : car il n'y a probablement rien dans notre globe qui ressemble à un conducteur continu et homogène; mais les

matières diverses dont il est composé sont précisément dans le cas d'une pile voltaïque formée d'éléments disposés au hasard, et qui, revenant sur elle-même, formerait comme une ceinture continue tout autour de la terre. Des éléments ainsi disposés donnent moins d'énergie électrique sans doute que s'ils l'étaient dans un ordre périodiquement régulier; mais il faudrait qu'ils fussent arrangés à dessein pour que, dans une série de substances différentes formant une courbe fermée autour de la terre, il n'y eût pas de courant dans un sens ou dans l'autre. Il se trouve que, d'après l'arrangement des substances de la terre, ce courant a lieu de l'est à l'ouest, et qu'il dirige partout l'aiguille aimantée perpendiculairement à sa propre direction. Cette direction trace ainsi sur la terre un parallèle magnétique, de manière que le pôle de l'aiguille qui doit être à gauche du courant se trouve par là constamment porté vers le nord, et l'aiguille, dirigée suivant le méridien magnétique.

Je ferai remarquer, à ce sujet, que les effets produits par les piles de la construction anglaise, où l'on brûle un fil fin de métal même avec une seule paire dont le zinc et le cuivre plongent dans un acide, prouvent suffisamment que c'est une supposition trop restreinte de n'admettre l'action électromotrice qu'entre les métaux, et de ne regarder le liquide interposé que comme conducteur. Il y a, sans doute, action entre deux métaux, Volta l'a démontré de la manière la plus complète; mais est-ce une raison pour qu'il n'y en ait pas entre eux et d'autres corps, ou entre ceux-ci seulement? Il y en a probablement dans le contact entre tous les corps qui peuvent conduire plus ou moins l'électricité sous une faible tension; mais cette action est plus sensible dans les piles composées de métaux et d'acides étendus, tant parce qu'il paraît que ce sont les substances où elle se développe avec le plus d'énergie, que parce que ce sont celles qui conduisent le mieux l'électricité.

Les divers arrangements que nous pouvons donner à des corps non métalliques ne sauraient produire une action électromotrice comparable à celle d'une pile voltaïque à disques métalliques séparés alternativement par des liquides, à cause du peu de longueur qu'il nous est permis de donner à nos appareils; mais une pile qui ferait le tour de la terre conserverait sans doute quelque intensité, lors même qu'elle ne serait pas composée de métaux, et que les éléments en seraient arrangés au hasard; car sur une si grande longueur, il faudrait, comme je viens de le dire, que l'arrangement fût fait à dessein pour que les actions dans un sens fussent exactement détruites par les actions dans l'autre.

Je crois devoir faire observer à ce sujet que des courants électriques dans un même corps ne peuvent être indépendants les uns des autres, à moins qu'ils ne fussent séparés par des substances qui les isoleraient complètement dans toute leur étendue, et encore, dans ce cas-là même, ils devraient influer les uns sur les autres, puisque leur action se transmet à travers tous les corps; à plus forte raison lorsqu'ils coexistent dans un globe dont toutes les parties sont continues, doivent-ils se diriger tous dans le même sens, suivant la direction que tend à leur donner la réunion de toutes les actions électromotrices de ce globe. Je suis bien loin, au reste, de croire que ce soit seulement dans ces actions, que réside la cause des courants électriques qui y sont indiqués par la direction que prend l'aiguille aimantée à chaque point de la surface de la terre; je crois, au contraire, que la cause principale en est toute différente, comme j'aurai occasion de le dire ailleurs; au reste, cette cause, dépendant de la rotation de la terre, donnerait en chaque lieu une direction constante à l'aiguille, ce qui est contraire à l'observation : je regarde donc l'action électromotrice des substances dont se compose la planète que nous habitons comme se combinant avec cette action générale, et expli-

quant les variations de la déclinaison à mesure que l'oxydation fait des progrès dans l'une ou l'autre région continentale de la terre.

Quant aux variations diurnes, elles s'expliquent aisément par le changement de température alternatif de ces deux régions pendant la durée d'une rotation du globe terrestre, d'autant plus facilement qu'on connaît depuis longtemps l'influence de la température sur l'action électromotrice, influence sur laquelle M. Dessaignes a fait des observations très intéressantes. Il faut aussi compter parmi les actions électromotrices des différentes parties de la terre, celle des minerais aimantés qu'elle contient, et qui doivent, d'après mes idées sur la nature de l'aimant, être considérés comme autant de piles voltaïques....

Maintenant, si des courants électriques sont la cause de l'action directrice de la Terre, des courants électriques seront aussi la cause de celle d'un aimant sur un autre aimant; d'où il suit qu'un aimant doit être considéré comme un assemblage de courants électriques, qui ont lieu dans des plans perpendiculaires à son axe, dirigés de manière que le pôle austral de l'aimant, qui se porte du côté du nord, se trouve à droite de ces courants, puisqu'il est toujours à gauche d'un courant placé hors de l'aimant, et qui lui fait face dans une direction parallèle, ou plutôt ces courants s'établissent d'abord dans l'aimant suivant les courbes fermées les plus courtes, soit de gauche à droite, soit de droite à gauche, et alors la ligne perpendiculaire aux plans de ces courants devient l'axe de l'aimant, et ses extrémités en deviennent les pôles. Ainsi, à chacun des pôles d'un aimant, les courants électriques dont il se compose sont dirigés suivant des courbes fermées concentriques; j'ai imité cette disposition autant qu'il était possible avec un courant électrique, en en pliant le fil conducteur en spirale : cette spirale était formée avec un fil de laiton et terminée par deux portions rectilignes de ce même fil, qui étaient renfermées dans

deux tubes de verre, afin qu'elles ne communiquassent pas entre elles, et pussent être attachées aux deux extrémités de la pile.

Suivant le sens dans lequel on fait passer le courant dans une telle spirale, elle est en effet fortement attirée ou repoussée par le pôle d'un aimant qu'on lui présente de manière que la direction de son axe soit perpendiculaire au plan de la spirale, selon que les courants électriques de la spirale et du pôle de l'aimant sont dans le même sens ou en sens contraire. En remplaçant l'aimant par une autre spirale dont le courant soit dans le même sens que le sien, on a les mêmes attractions et répulsions; c'est ainsi que j'ai découvert que deux courants électriques s'attirent quand ils ont lieu dans le même sens, et se repoussent dans le cas contraire.

En remplaçant ensuite, dans l'expérience de l'action mutuelle d'un des pôles d'un aimant et d'un courant dans un fil métallique plié en spirale, cette spirale par un autre aimant, on a encore les mêmes effets, soit en attraction, soit en répulsion, conformément à la loi des phénomènes connus de l'aimant; il est évident d'ailleurs que toutes les circonstances de ces derniers phénomènes sont une suite nécessaire de la disposition des courants électriques que j'y admets, d'après la manière dont ces courants s'attirent et se repoussent....

Je ne pus achever la lecture que je fis à l'Académie de ce que je viens de transcrire que dans la séance du 25 septembre (1820); je terminai cette lecture par un résumé où je déduisais, des faits qui y étaient exposés, les conclusions suivantes :

1° Deux courants électriques s'attirent quand ils se meuvent parallèlement dans le même sens; ils se repoussent quand ils se meuvent parallèlement en sens contraire.

2° Il s'ensuit que quand les fils métalliques qu'ils parcourent ne peuvent que tourner dans des plans parallèles,

chacun des deux courants tend à amener l'autre dans une situation où il lui soit parallèle et dirigé dans le même sens.

3° Ces attractions et répulsions sont absolument différentes des attractions et répulsions électriques ordinaires.

4° Tous les phénomènes que présente l'action mutuelle d'un courant électrique et d'un aimant, découverts par M. Œrsted, que j'ai analysés et réduits à deux faits généraux dans un mémoire précédent, lu à l'Académie le 18 septembre 1820, rentrent dans la loi d'attraction et de répulsion de deux courants électriques, telle qu'elle vient d'être énoncée, en admettant qu'un aimant n'est qu'un assemblage de courants électriques qui sont produits par une action des particules de l'acier les unes sur les autres analogue à celle des éléments d'une pile voltaïque, et qui ont lieu dans des plans perpendiculaires à la ligne qui joint les deux pôles de l'aimant.

5° Lorsque l'aimant est dans la situation qu'il tend à prendre par l'action du globe terrestre, ces courants sont dirigés dans le sens opposé à celui du mouvement apparent du Soleil; en sorte que quand on place l'aimant dans la situation contraire, afin que ceux de ces pôles qui regardent les pôles de la terre soient de même espèce qu'eux, les mêmes courants se trouvent dans le sens du mouvement apparent du Soleil.

6° Les phénomènes connus qu'on observe lorsque deux aimants agissent l'un sur l'autre rentrent dans la même loi.

7° Il en est de même de l'action que le globe terrestre exerce sur un aimant, en y admettant des courants électriques dans des plans perpendiculaires à la direction de l'aiguille d'inclinaison, et qui se meuvent de l'est à l'ouest, au-dessous de cette direction.

8° Il n'y a rien de plus à l'un des pôles d'un aimant qu'à l'autre; la seule différence qu'il y ait entre eux est

que l'un se trouve à gauche et l'autre à droite des courants électriques qui donnent à l'acier les propriétés magnétiques.

9° Lorsque Volta eut prouvé que les deux électricités positive et négative des deux extrémités de la pile s'attiraient et se repoussaient d'après les mêmes lois que les deux électricités produites par les moyens connus avant lui, il n'avait pas pour cela démontré complètement l'identité des fluides mis en action par la pile et par le frottement; mais cette identité le fut, autant qu'une vérité physique peut l'être, lorsqu'il montra que deux corps, dont l'un était électrisé par le contact des métaux, et l'autre par le frottement, agissaient l'un sur l'autre, dans toutes les circonstances, comme s'ils avaient été tous les deux électrisés avec la pile ou avec la machine électrique ordinaire. Le même genre de preuves se trouve ici à l'égard de l'identité des attractions et répulsions des courants électriques et des aimants. Je viens de montrer à l'Académie l'action mutuelle de deux courants; les phénomènes anciennement connus relativement à celle de deux aimants rentrent dans la même loi; en partant de cette similitude, on prouverait seulement que les fluides électriques et magnétiques sont soumis aux mêmes lois, comme on l'admet depuis longtemps, et le seul changement à faire à la théorie ordinaire de l'aimantation serait d'admettre que les attractions et répulsions magnétiques ne doivent pas être assimilées à celles qui résultent de la tension électrique, mais à celles que j'ai observées entre deux courants. Les expériences de M. Œrsted, où un courant électrique produit encore les mêmes effets sur un aimant, prouvent de plus que ce sont les mêmes fluides qui agissent dans les deux cas.

Dans la séance du 9 octobre, j'insistai de nouveau sur cette identité de l'électricité et de la cause des phénomènes magnétiques, en montrant que l'aimant ne jouit des propriétés qui le caractérisent que parce qu'il se

trouve, dans les plans perpendiculaires à la ligne qui en joint les pôles, la même disposition d'électricité qui existe dans le conducteur par lequel on fait communiquer les deux extrémités d'une pile voltaïque; disposition que j'ai désignée sous le nom de *courant électrique*, tout en insistant, dans les mémoires que j'ai lus à l'Académie, sur ce que l'identité des parallèles magnétiques et des conducteurs d'une pile de Volta, que j'avais surtout en vue d'établir, était indépendante de l'idée, quelle qu'elle fût, qu'on se faisait de cette disposition électrique....

Ce serait ici le lieu de parler d'un autre genre d'action des courants électriques sur l'acier, celle par laquelle ils lui communiquent les propriétés magnétiques, et de montrer que toutes les circonstances de cette action, dont nous devons la connaissance à M. Arago, sont autant de preuves de la théorie exposée dans ce mémoire relativement à la nature électrique de l'aimant; théorie dont il me semble qu'on peut dire que ces preuves complètent la démonstration. J'aurais aussi, pour ne rien omettre de ce qui est connu sur l'action mutuelle des fils conjonctifs et des aimants, à parler d'expériences très intéressantes communiquées à l'Académie dans un mémoire qu'un physicien plein de sagacité, M. Boisgiraud, a lu dans la séance du 9 octobre 1820[1]. Une de ces expériences ne laisse aucun doute sur un point important de la théorie de l'action mutuelle d'un fil conducteur et d'un aimant, en prou-

1. *Annales de Chimie et de Physique* [2], t. XV, p. 279. L'expérience de Boisgiraud consiste à faire agir un fil conducteur perpendiculaire au méridien magnétique sur une petite aiguille aimantée flottant sur l'eau, grâce à une légère couche de graisse qui couvre sa surface. L'aiguille peut être considérée comme mobile, uniquement dans un plan horizontal. Si le courant placé au-dessus de l'aiguille va de l'ouest à l'est, celle-ci se déplace parallèlement à elle-même jusqu'à ce que son centre soit au-dessous du fil; elle est, au contraire, repoussée si le courant va de l'est à l'ouest. Cette expérience a cela de remarquable que les deux pôles se comportent de la même manière. — J.

vant que cette action a lieu entre ce conducteur et toutes les tranches perpendiculaires à la ligne qui joint les deux pôles du petit aimant soumis à son action, sans se développer avec une plus grande énergie sur les pôles de cet aimant, comme il arrive lorsqu'on observe l'action que les divers points de la longueur d'un barreau aimanté exercent sur une petite aiguille. (Extrait de la *Collection de mémoires publiés par la Société Française de physique*, t. II, p. 7-53.)

D'André-Marie Ampère à M. Roux, de Genève.

Paris, 18 décembre 1820.

« Depuis trois mois je n'ai qu'une seule idée, les phénomènes de l'aimant purs : phénomènes électriques, l'*électricité* disposée et agissant dans les plans perpendiculaires à l'axe d'un aimant comme dans un circuit voltaïque, tout le long de cet axe; la direction d'une position mobile de circuit voltaïque de l'est à l'ouest par le globe terrestre; l'imitation de tout genre d'action d'un aimant par un conducteur voltaïque roulé en hélice sur un tube de verre, et revenant en ligne droite dans l'intérieur de ce tube pour détruire l'effet de l'obliquité des spires de l'hélice, et rendre l'action identique à celle de l'aimant, dont les courants électriques sont perpendiculaires à l'axe; etc.

« Monsieur Hachette m'a chargé de vous envoyer le compte qu'il a rendu des travaux qui ont créé cette nouvelle branche de physique. Vous trouverez à la suite l'analyse des sept mémoires que j'ai lus sur ce sujet à l'Institut [1], et les conclusions du plus important de tous, celui du 25 septembre, et enfin l'analyse de mes deux derniers mémoires.

1. On a lu plus haut (voir la note de la page 419) des extraits de cette analyse. — J. G.

« Je vous embrasse de tout mon cœur, attendant avec impatience de vos nouvelles et de celles de la manière dont on regarde à Genève l'identité de l'électricité et du magnétisme.

« Tout à vous,

« A. AMPÈRE. »

D'André-Marie Ampère à M. Roux, de Genève.

Paris, 21 février 1821.

« Vous avez bien raison de vous étonner qu'on n'ait pas essayé, il y a vingt ans, l'action de la pile voltaïque sur l'aimant. La cause en est dans l'hypothèse de Coulomb sur la nature de l'action magnétique. On croyait à cette hypothèse comme à un fait; elle écartait absolument toute idée d'action entre l'électricité et les prétendus fils magnétiques. La prévention à ce sujet était telle, qu'au moment où M. Arago parla de ces nouveaux phénomènes à l'Institut, on les rejeta, aussi bien qu'on avait rejeté dans le temps les pierres tombées du ciel, décrites par Pictet dans son mémoire; comme ils refusèrent, il y a quelques années, d'admettre que le chlore fût un corps simple. Les mêmes préventions se renouvellent à présent, et les empêchent d'accepter l'identité des fluides électriques et magnétiques, l'existence des courants électriques dans le globe terrestre et dans les aimants. C'est vraiment drôle à voir les efforts que font certaines intelligences, pour tâcher d'accorder avec les nouveaux faits l'hypothèse gratuite de deux fluides magnétiques différents des fluides électriques, uniquement parce qu'on n'y a pas encore habitué son esprit! Je sais bien que mon mémoire n'est pas rédigé assez clairement : cela vient de ce que je l'ai écrit avec une hâte extrême et par morceaux détachés, réunis ensuite comme j'ai pu.

« A. AMPÈRE. »

D'André-Marie Ampère à J. Bredin [1].

Paris, mardi, septembre 1822.

« Cher ami, mon voyage de Genève ici a été au mieux ; je suis venu jusqu'à Dôle en deux jours avec le même cheval attelé à une petite carriole où j'étais seul. J'ai trouvé à Bâle la voiture publique à point nommé. Parti de Genève mercredi matin, je suis arrivé à Paris le dimanche à dix heures. Avant déjeuner j'ai eu le temps d'écrire à la hâte pour l'Institut, et j'ai eu le lendemain lundi 16 septembre les résultats de trois nouvelles expériences que j'avais faites à Genève. L'une a constaté un cas de répulsion entre deux portions de courants électriques que j'avais déduits de mes formules dans le mémoire lu le 24 juin. Cet accord de l'expérience avec un résultat annoncé d'avance est une grande preuve en faveur de ces formules. La seconde expérience a montré la production des courants par influence que j'avais essayés sans succès, il y a plus d'un an. La troisième a pour objet de prouver plus complètement le principe dont je me suis servi dans le mémoire du 10 juin pour achever ma formule, où il était resté jusqu'alors quelque chose d'indéterminé. J'ai encore lu quelque chose à la séance d'hier sur l'action électro-dynamique de la terre, afin de montrer sans l'énoncer explicitement combien sont dénuées de fondement les objections contre ma théorie qui ont paru dans le dernier numéro des *Annales de physique et de chimie*. Au reste, ces objections de M. de la Rive, chez qui je demeurais à Genève, étaient déjà absolument résolues dans mes conversations avec lui et son fils Auguste, qui sera infailliblement un grand

1. *Bredin*, directeur de l'École vétérinaire de Lyon, était l'ami le plus intime d'Ampère. Voir *Correspondance et Souvenirs*, passim. — J. G.

physicien. Il m'a aidé dans toutes mes expériences; son père m'a comblé d'attentions dont je conserve la plus vive reconnaissance. J'ai reçu en arrivant une lettre de M. Faraday; je fais construire un appareil que je viens d'imaginer pour de nouvelles expériences. »

D'André-Marie Ampère à J.-J. Ampère.

Paris, 28 octobre 1824.

« Cher ami, tu as vu par les journaux de quel désappointement a été suivie la joie que j'avais ressentie de ma nomination au Collège de France. Mes projets de travaux renversés, deux cours à préparer à la fois, l'impossibilité de faire de nouvelles recherches sur la physique, de publier les ouvrages que je méditais : voilà ce qui me tourmente, ce dont je ne puis supporter l'idée ; voilà cette passion scientifique furibonde qui est punie par l'événement comme elle méritait de l'être, car c'est une des causes qui m'a écarté de ce que je n'aurais jamais dû abandonner, en m'occupant uniquement des découvertes de l'électricité dynamique.

« Ma pauvre sœur m'a caché pendant près de cinq ans les déficits qu'elle trouvait dans ses comptes, voulant ne pas m'inquiéter et ne pas me priver des douceurs de la vie. Moi, ne sachant rien, je reprenais sans cesse des fonds pour mes instruments de physique, les frais d'impression, les réparations de la maison et les travaux de mon jardin ; il me reste encore 4000 francs de dettes. Connaissant la vérité, maintenant je me restreindrai sur tout jusqu'à la fin de l'année. Quant à ma sœur, je me suis bien gardé d'accroître ses peines par l'explosion des miennes. J'ai surmonté, avec le secours de Dieu que j'avais imploré, cet horrible penchant à la colère; il y a eu entre nous deux des conversations de regrets et d'amitié qui ne peuvent que produire d'heureux résultats. Ma sœur est bien bonne, bien à plaindre, et n'a agi ainsi

que pour m'épargner un chagrin. Notre existence est maintenant triste, calme et uniforme; ta présence pourra seule y remettre un peu de joie. »

D'André-Marie Ampère à J.-J. Ampère.

Paris, 8 octobre 1826.

« M. Herschell parla à M. Wollaston de mes expériences et lui inspira le désir de les voir : je les lui ferai demain à midi. Mon mémoire va paraître sous ce titre : *Théorie des phénomènes électro-dynamiques, uniquement déduite de l'expérience.* Ce sera un volume de 220 pages in-quarto. Ce livre [1] qui suppose les faits généraux connus, devrait être précédé d'une exposition de ces faits avec la description des appareils et l'histoire des découvertes successives; alors j'aurais le traité complet que je rêve depuis trois ans. Je ne sais si le temps me permettra jamais de réaliser ce projet. En attendant, l'ouvrage de Montferrand suppléera à cette première partie. Je t'ai conté le succès de ma nouvelle expérience répétée dans la séance du 4 septembre devant M. de Laplace, qui parut si content. »

(Extrait de l'ouvrage déjà cité : *André-Marie Ampère et Jean-Jacques Ampère. Correspondance et souvenirs*, t. I.)

Cependant Ampère rencontra une très vive opposition de la part des savants. M. Valson, dans sa belle vie d'Ampère, en cite un témoignage remarquable. Il est extrait d'un article d'un témoin oculaire, M. Littré, article relatif à la découverte de l'électro-dynamique et inséré au commencement du second volume de l'*Essai sur la philosophie des sciences* [2].

1. On lira plus loin le commencement de cet ouvrage célèbre. — J. G.

2. *Essai sur la philosophie des sciences*, par André-Marie Ampère, t. II, p. LXXXI, 1843.

Ce fut sans doute, dit M. Littré, à cause de la profondeur de la loi qu'il avait découverte, et du genre de démonstration analytique qu'il employa, que M. Ampère éprouva tant de difficultés à la faire comprendre et admettre par les savants. Les physiciens français se montrèrent d'abord contraires, croyant que les idées théoriques de M. Ampère étaient opposées à la doctrine de Newton, d'après laquelle toutes les actions et réactions s'exercent suivant une ligne droite, et jamais circulairement. Repoussé de toutes parts, ou plutôt mal écouté et mal compris, M. Ampère ne se décourageait pas; il soumettait à Laplace tous ses calculs analytiques; il prouvait aux géomètres que sa loi sur les attractions magnétiques et électriques rentrait dans le principe même de Newton, et que ces mouvements giratoires résultaient d'attractions et de répulsions directes. De tous les membres de l'Académie, Fourier est peut-être le seul qui ait accueilli favorablement les idées de M. Ampère. Néanmoins aucune objection par écrit ne lui fut faite en France par des géomètres, et peu à peu les préventions étant tombées, les difficultés étant levées et ses travaux ayant été enfin compris, sa théorie devint une acquisition définitive pour la physique.

La résistance des savants français fut cependant moins grande que celle des savants étrangers. Ceux-ci, trop incapables de suivre les déductions analytiques du savant français, persistèrent dans leurs vagues explications sur le tourbillon électrique; Berzélius ne dit pas un mot de M. Ampère dans les avant-propos de physique qui sont en tête de sa chimie; MM. Humphry Davy, Faraday, Seebeck, Delarive, Prévost, Nobili, et une foule d'autres savants élevèrent objections sur objections, toutes plus singulières les unes que les autres; et M. Ampère n'eut gain de cause en Angleterre que lorsque M. Babbage qui, dans un voyage à Paris, avait reçu les explications orales du physicien français, eut rapporté à Londres une

démonstration qui avait eu tant de peine à pénétrer parmi les savants : triomphe complet que les principes de la philosophie naturelle de Newton ont remporté, appuyés de l'autorité d'un géomètre français. » (LITTRÉ, Extrait de l'*Introduction à l'Essai sur la Philosophie des sciences*. Cité par M. Valson dans la *Vie d'Ampère*, p. 280.)

Enfin nous terminerons ces extraits d'Ampère par le jugement suivant de M. Bertrand.

Ampère a fait en physique une des plus grandes découvertes du siècle, celle des actions électro-dynamiques, et par là, bien plus que par l'idée des télégraphes électriques, il a pris rang à côté d'Œrsted. La place est glorieuse assurément; mais Ampère en a mérité une bien plus haute encore : c'est à Newton, tout au moins, qu'il faut le comparer. Les phénomènes complexes, et en apparence inexplicables, de l'action de deux courants, ont été analysés par lui et réduits à une loi élémentaire à laquelle cinquante ans de travaux et de progrès n'ont pas changé une syllabe.

Le livre d'Ampère est, aujourd'hui encore, l'œuvre la plus admirable produite dans la physique mathématique depuis le *Livre des Principes*. Jamais plus beau problème ne s'est rencontré sur la voie d'un plus grand génie. Par un bonheur bien rare dans l'histoire des sciences, tout ici appartient à Ampère. Le phénomène entièrement nouveau qu'il a deviné, c'est lui qui l'a observé le premier, c'est lui seul qui en a varié les circonstances pour en déduire les expériences si élégantes qui servent de base à la théorie, lui seul enfin qui, avec un rare bonheur, a exécuté tous les calculs et inventé toutes les démonstrations. Ampère a révélé une loi d'attraction nouvelle, plus complexe et plus malaisée sans doute à découvrir que celle des corps célestes. Il a été à la fois le Kepler et le Newton de la théorie nouvelle, et c'est sans aucune exa-

génération qu'aujourd'hui, à un demi-siècle de distance, sans subir l'entraînement d'aucune amitié, et sans complaisance pour personne, nous pouvons placer le nom d'Ampère à côté des plus illustres dans l'histoire de l'esprit humain. Aucun génie n'a été plus complet; aucun inventeur mieux inspiré n'a été mieux servi par les circonstances. (J. Bertrand. Cité par M. Valson, dans la *Vie d'Ampère*, p. 284.)

Expériences relatives à l'aimantation du fer et de l'acier par l'action du courant voltaïque [1].

La brillante découverte que M. Œrsted vient de faire consiste, comme on a vu, dans l'action que le courant voltaïque exerce sur une aiguille d'acier *préalablement aimantée*. En répétant les expériences du physicien danois, j'ai reconnu que ce même courant *développe fortement la vertu magnétique* dans les lames de fer ou d'acier qui, d'abord, en étaient totalement privées.

Je rapporterai les expériences qui établissent ce résultat, dans l'ordre, à fort peu près, où elles ont été faites.

Ayant adapté un fil cylindrique de cuivre, assez fin, à l'un des pôles de la pile voltaïque, je remarquai qu'à l'instant où ce fil était en communication avec le pôle opposé, il attirait la limaille de fer doux, comme l'eût fait un véritable aimant.

Le fil, plongé dans la limaille, s'en chargeait également tout autour, et acquérait, par cette addition, un diamètre presque égal à celui d'un tuyau de plume ordinaire.

Aussitôt que le fil conjonctif cessait d'être en communication avec les deux pôles de la pile *à la fois*, la limaille se détachait du fil et tombait.

Ces effets ne dépendaient pas d'une aimantation préa-

1. *Annales de Chimie et de Physique* [2], t. XV, p. 93-102, 1820.

lable de la limaille, puisque des fils de fer doux ou d'acier n'en attiraient aucune parcelle.

On les expliquerait tout aussi peu, en les attribuant à des actions électriques ordinaires; car, en répétant l'expérience avec des limailles de cuivre et de laiton, ou avec de la sciure de bois, on trouve qu'elles ne s'attachent, dans aucun cas, d'une manière sensible au fil conjonctif.

Cette attraction, que le fil conjonctif exerce sur la limaille de fer, diminue fort rapidement à mesure que l'action de la pile s'affaiblit. Peut-être trouvera-t-on, un jour, dans le poids de la quantité de la limaille soulevée par une longueur donnée du fil, la mesure de l'énergie de cet instrument, aux différentes époques d'une même expérience.

L'action du fil conjonctif sur le fer s'exerce à distance : il est facile de voir, en effet, que la limaille se soulève bien avant que le fil soit en contact avec elle.

Je n'ai parlé jusqu'ici que d'un fil conjonctif de laiton; mais des fils d'argent, de platine, etc., donnent des résultats analogues. Il reste toutefois à étudier si, à parité de forme, de masse ou de diamètre, des fils de différents métaux agissent exactement avec la même intensité.

Le fil conjonctif ne communique au fer doux qu'une aimantation momentanée; si l'on se sert de petites parcelles d'acier, on leur donne, parfois, une aimantation permanente. Je suis même parvenu à aimanter ainsi complètement une aiguille à coudre.

M. Ampère, à qui je montrais ces expériences, venait de faire l'importante découverte que deux fils rectilignes et parallèles, à travers lesquels passent deux courants électriques, s'attirent quand les courants se meuvent dans le même sens, et se repoussent quand ils sont dirigés en sens contraires; il avait de plus tiré de là, par analogie, cette conséquence que les propriétés attractives et répulsives des aimants dépendent des courants électriques qui circulent autour des molécules du fer et de l'acier, dans

une direction perpendiculaire à la ligne qui joint les deux pôles. M. Ampère supposait encore que sur une aiguille horizontale dirigée au nord, le courant dans la partie supérieure se mouvait de l'ouest à l'est. Ces vues théoriques lui suggérèrent à l'instant la pensée qu'on obtiendrait une plus forte aimantation en substituant au fil conjonctif droit dont je m'étais servi un fil plié en hélice, au centre de laquelle l'aiguille d'acier serait placée; il espérait de plus qu'on obtiendrait par là une position constante de pôles, ce qui n'arriverait pas dans ma méthode. Voici comment nous avons soumis, M. Ampère et moi, ces conjectures à l'épreuve de l'expérience.

Un fil de cuivre roulé en hélice était terminé par deux portions rectilignes qui pouvaient s'adapter, à volonté, aux pôles opposés d'une forte pile voltaïque horizontale; une aiguille d'acier enveloppée de papier fut introduite dans l'hélice, mais après seulement que la communication entre les deux pôles eut été établie, afin que l'effet qu'on attendait ne pût pas être attribué à la décharge électrique, qui se manifeste à l'instant même où le fil conjonctif aboutit aux deux pôles. Pendant l'expérience, la portion de ce fil dans laquelle l'aiguille d'acier était renfermée demeura constamment perpendiculaire au méridien magnétique, en sorte qu'on n'avait rien à craindre de l'action du globe terrestre.

Or, après quelques minutes de séjour dans l'hélice, l'aiguille d'acier avait reçu une assez forte dose de magnétisme; la position des pôles nord et sud se trouva d'ailleurs parfaitement conforme au résultat que M. Ampère avait déduit, à l'avance, de la direction des éléments de l'hélice....

Dans toutes les expériences de ce genre que nous avons faites chez M. Ampère avec une pile assez forte qu'il possède, il a suffi d'un simple changement dans le sens suivant lequel le courant circulait autour des fils d'acier pour donner lieu à une inversion complète des pôles....

Dans un autre essai je pliai le fil de cuivre en hélice, de droite à gauche, sur une longueur de 5 centimètres; ensuite de gauche à droite, sur une longueur égale; puis enfin, une seconde fois, de droite à gauche : ces trois hélices étaient séparées par des portions rectilignes du même fil.

Un seul et même fil d'acier, suffisamment long, de plus d'un millimètre de diamètre, et enveloppé d'un tube de verre, fut placé dans les trois hélices à la fois. Le courant galvanique, en parcourant les spires de ces diverses hélices, aimanta les portions correspondantes du fil d'acier, comme si elles avaient été séparées les unes des autres. Je remarquai, en effet, qu'à l'un des bouts se trouvait un pôle nord; à 5 centimètres de distance, un pôle sud; plus loin un second pôle sud suivi d'un pôle nord; enfin un troisième pôle nord, et à 5 centimètres de là ou à l'autre extrémité de l'aiguille, un pôle sud. On pourrait donc, par cette méthode, multiplier à volonté ces pôles intermédiaires que les physiciens ont désignés par le nom de *points conséquents*. (*Collection de mémoires publiés par la Société Française de physique*, t. II, p. 55.)

Quelques jours après la découverte de l'aimantation par les courants, Davy arrivait à Londres au même résultat. Il les raconte ainsi dans une lettre à Wollaston du 12 novembre 1820.

En répétant les expériences de M. Œrsted avec un appareil voltaïque de 100 paires de plaques de 4 pouces, j'ai trouvé que le pôle sud d'une aiguille aimantée (suspendue à la manière ordinaire), placée sous le fil conjonctif en platine (l'extrémité positive de l'appareil étant à droite), était fortement attiré par le fil et restait en contact avec lui, l'action étant assez forte pour changer la direction de l'aiguille et vaincre l'effet du magnétisme terrestre. Ce fait ne pouvait s'expliquer qu'en supposant que le fil devient lui-même magnétique pendant qu'il est traversé

par l'électricité, et j'ai cherché immédiatement à prouver, par des expériences directes, que c'était bien, en effet, le cas. Je répandis de la limaille de fer sur du papier et en approchai le fil conjonctif : la limaille fut immédiatement attirée et adhéra au fil en quantité considérable, en formant une masse dix à douze fois plus épaisse que le fil lui-même; si l'on rompait la communication, la limaille tombait instantanément, ce qui prouvait bien que l'effet magnétique dépendait uniquement du passage de l'électricité à travers le fil....

Il était aisé de conclure que ces effets ne pouvaient être produits par le fil électrisé, sans être capables de donner à l'acier une aimantation permanente....

J'ai reconnu que le contact des aiguilles d'acier avec le fil n'était pas nécessaire, et que l'effet se produisait encore immédiatement quand elles étaient placées transversalement à quelque distance, même quand on interposait une plaque de verre très épaisse; enfin, une aiguille placée transversalement au fil pendant un seul instant a été trouvée aussi fortement aimantée qu'une aiguille restée longtemps en communication avec lui....

J'ai vérifié, par plusieurs expériences, que l'effet est proportionnel à la quantité d'électricité qui traverse une section du conducteur, quel que soit, d'ailleurs, le métal qui la transmet; ainsi, plus les fils sont fins, plus leur aimantation est forte....

Toutes ces expériences montrent nettement que l'aimantation se produit partout où l'électricité passe en grande quantité; mais elles fournissent peu d'indications sur les circonstances précises ou les lois de sa production.

Je ne veux point céder à la tentation d'aborder la partie théorique du sujet; mais, en présence des faits que je viens de développer, une foule d'idées curieuses ne peuvent manquer de se présenter à un esprit éclairé. Le magnétisme terrestre ne serait-il pas dû à son électricité, et les variations de l'aiguille aux variations des courants

électriques du globe, variations qui seraient la conséquence de son mouvement, des actions chimiques qui s'opèrent dans ses profondeurs, ou de ses relations avec la chaleur solaire; n'est-il pas à croire, d'après cela, que les effets lumineux des aurores polaires sont dus à l'électricité? Ce qu'il y a de certain, c'est que si de forts courants électriques circulaient dans le sol, suivant le mouvement apparent du Soleil, les propriétés magnétiques de la Terre seraient celles que nous connaissons. (*Collection de Mémoires*, etc., t. II, p. 64.)

Il semble, après avoir lu ce dernier passage, que Davy ne devait pas hésiter à adopter l'hypothèse d'Ampère sur le magnétisme terrestre; et cependant Davy, tout en reconnaissant la priorité de l'expérience d'Arago, se déclare « peu favorable à l'idée de l'identité de l'électricité et du magnétisme ». Il est difficile de ne pas y voir une preuve de plus de la difficulté avec laquelle Davy, malgré son admirable génie, accueillait les vues des savants étrangers.

CHAPITRE V

MICHEL FARADAY

L'induction.

Michel Faraday est né le 22 septembre 1791 à Newington-Butts, près de Londres. Ses parents, modestes ouvriers, très religieux, le placèrent, à l'âge de treize ans, comme apprenti libraire et relieur, dans une boutique de Blandfort Street. La lecture des *Conversations sur la chimie* de Mme Marcet et l'impression très vive produite par quelques leçons de Davy décidèrent son goût pour la chimie. Davy l'accepta comme aide préparateur à l'âge de vingt et un ans. Il ne quitta plus la Société Royale de Londres, où il fut appelé plus tard à occuper la chaire de son illustre maître. Il mourut le 25 août 1867, membre associé de l'Institut de France et de la plupart des Académies étrangères.

M. Dumas lui a consacré un de ses plus beaux éloges; nous y ferons de nombreux emprunts.

Michel Faraday, l'un des huit associés étrangers de l'Académie des sciences, avait succédé en cette qualité à son illustre compatriote Dalton, le créateur de la théorie atomique moderne. Il avait mérité cet honneur, le plus grand dont notre Compagnie dispose, par des travaux et des découvertes qui ont rendu son nom populaire dans les deux mondes et qui lui assurent pour toujours une place parmi les grands inventeurs. Comme Dalton, Faraday

avait eu des commencements modestes; sa vie n'avait, de même, connu d'autres devoirs que ceux qui se lient au culte de la science, et comme Dalton enfin, ses dernières années, condamnées au repos par les infirmités, furent honorées des témoignages du noble intérêt de la reine, interprète de la reconnaissance de l'Angleterre pour la plus pure de ses gloires scientifiques.

Je ne sais s'il existe au monde un savant qui ne fût heureux de laisser en mourant des travaux pareils à ceux dont Faraday a fait jouir ses contemporains et qu'il a légués à la postérité; mais je suis sûr que tous ceux qui l'ont connu voudraient approcher de cette perfection morale qu'il atteignait sans effort. Elle semblait chez lui comme une grâce naturelle qui en faisait un professeur plein de feu pour la diffusion de la vérité, un artiste infatigable, plein d'entrain et de gaîté dans son laboratoire, le meilleur et le plus doux des hommes au sein de sa famille, et le prédicateur le mieux inspiré au milieu de l'humble troupeau religieux dont il suivait la foi.

La simplicité de son cœur, sa candeur, son amour ardent de la vérité, sa franche sympathie pour tous les succès, son admiration naïve pour les découvertes d'autrui, sa modestie naturelle, dès qu'il s'agissait des siennes, son âme noble, indépendante et fière, tout cet ensemble donnait un charme incomparable à la physionomie de l'illustre physicien.

Nous nous étions rencontrés dans notre jeunesse, à une époque où l'un et l'autre nous en étions à nos débuts. Nous nous sommes retrouvés souvent, lorsque ses brillantes découvertes excitaient la curiosité universelle, et pourtant, dans le laboratoire intime, quand il reproduisait pour moi la suite de ses expériences fondamentales, je me surprenais à oublier la science pour observer le savant, distrait des merveilles qu'il dévoilait dans la nature physique, par le désir de surprendre le secret de

cette perfection morale qui se manifestait dans tous les mouvements de son âme.

Je n'ai pas connu d'homme plus digne d'être aimé, d'être admiré, d'être regretté. Je voudrais conserver sa physionomie à cette existence si calme; en tracer un tableau coloré serait la dénaturer. Il n'y eut pas de drame dans la vie de Faraday ; elle doit être présentée sous cet aspect simple qui en fait la grandeur. Il y a plus d'une leçon utile à recevoir, cependant, de l'étude sincère de cet homme illustre dont la jeunesse traversa la pauvreté avec dignité, dont l'âge mûr supporta la gloire avec modération, et de qui les dernières années s'éteignaient doucement naguère, au milieu des respects et des plus tendres affections.

La fidélité à la foi religieuse et la constante observation de la loi morale constituent les traits dominants de sa vie. Sans doute, sa ferme croyance en la justice d'en haut qui pèse tous nos mérites et en cette bonté souveraine qui pèse toutes nos souffrances n'a pas inspiré à Faraday ses grandes découvertes, mais elle lui a donné la droiture, le respect de soi-même, la force contre ses propres entraînements et l'esprit de justice, qui lui ont permis de lutter avec confiance contre la mauvaise fortune et d'accepter la prospérité sans en être enivré....

Indépendamment d'Œrsted l'électricité est surtout redevable, pour ne parler que de ceux qui ne sont plus, à Franklin, Coulomb, Galvani, Volta, Arago, Ampère, Faraday.

Ampère et Faraday ont une place à part dans cette pléiade illustre. Ils ont, chacun de leur côté, non seulement découvert des faits, mais ils les ont rassemblés et subordonnés à des lois, et, quand l'électricité aura trouvé son Newton, on pourra dire que si Ampère en fut le Kepler, Faraday en fut le Galilée.

On aime à arrêter son souvenir sur Ampère, sur Faraday, et à comparer ces deux hommes, si divers par les

dons de la nature, si rapprochés par le génie et par les travaux. Ce que l'un a fait, l'autre aurait pu le faire. Ils sont inséparables dans le tableau du mouvement scientifique dont l'électricité a été l'objet, comme dans le souvenir de ceux qui les ont vus à l'œuvre. Quelle différence, pourtant, sous tous les rapports, entre ces deux inventeurs, dans l'éducation, dans les habitudes, dans la manière d'interroger la nature et dans le point de départ ou la marche de leur investigation! Ce n'est qu'au but qu'ils se rencontrent; mais, là, ils se confondent si étroitement, qu'on ne pourrait pas distinguer les résultats obtenus par l'un de ceux que l'autre a constatés : même rectitude dans les vues, même grandeur dans les conséquences, même physionomie dans les formules simples qui expriment les vérités acquises par leurs efforts.

Ampère était grand, mélancolique, gauche dans ses mouvements, lent dans ses allures; presque aveugle, écrire une ligne était pour lui une fatigue, tracer correctement un cercle ou un carré une impossibilité. Sa mémoire exercée et sûre avait tout retenu : Histoire, Philosophie, Zoologie, Physique, Chimie; vers des classiques français et latins; détails minutieux des caractères attribués aux plantes par Jussieu, ou aux animaux par Cuvier. Ses distractions fabuleuses étaient, de son vivant même, passées à l'état de légendes; il aimait à s'abandonner au courant de son imagination; tout devoir lui était pénible. Sa vie scientifique semblait terminée, lorsque la découverte d'Œrsted vint faire vibrer dans sa belle intelligence des cordes que personne et lui-même n'y avaient jamais soupçonnées. Pour matérialiser sa pensée, lui, si maladroit, devenait le plus ingénieux des constructeurs d'appareils; lui, si myope, rendait visibles à tous, par les yeux du corps et par les expériences les plus claires, des propriétés cachées de la matière que la méditation seule dévoilait aux yeux de son esprit; ce rêveur était saisi d'une vive passion, et son intelligence, portée soudain

vers une région supérieure, dévoilait, en quelques semaines, des vues neuves sur la constitution moléculaire des aimants, des faits prédits avec une logique admirable et mis en évidence avec sûreté, des lois, enfin, formant ce code de l'électricité dynamique, consacré déjà par le temps.

Faraday était de taille moyenne, vif, gai, l'œil alerte, le mouvement prompt et sûr, d'une adresse incomparable dans l'art d'expérimenter. Exact, précis, tout à ses devoirs; lorsqu'il préparait, dans sa jeunesse, les leçons de Chimie à l'Institution royale, chaque expérience, menée à point, répondait si bien à la pensée et à la parole du maître, qu'on avait contume de dire alors que celui-ci professait sur le velours. A la fin de sa vie, lorsqu'il avait quitté la chaire, redevenu auditeur, il suivait de l'œil tous les appareils, surveillant leur marche, prêt à la hâter ou à la ralentir, à réparer le moindre désordre, sans affectation, et comme s'il accomplissait l'office d'un régulateur naturel identifié avec la pensée du professeur. Il vivait dans son laboratoire au milieu de ses instruments de recherche; il s'y rendait le matin et en sortait le soir, aussi exact qu'un négociant qui passe la journée dans ses bureaux. Toute sa vie fut consacrée à y tenter des expériences nouvelles, trouvant, dans la plupart des cas, qu'il était plus court de faire parler la nature que d'essayer de la deviner. Obligé par sa mémoire ingrate et infidèle de noter et de numéroter les faits qu'il découvrait ou les idées qui germaient dans son esprit et d'en tenir registre, il en dressait soigneusement la table, certain que, sans cette précaution, il ne les retrouverait jamais au moment du besoin. Faraday, qui n'était pas mathématicien, a été moins prompt dans ses conceptions qu'Ampère; son œuvre, fondée sur l'expérience seule, a été plus lente; mais, comme lui, il s'est élevé à la plus haute contemplation de la nature, et comme lui, il a découvert tout un ensemble de faits certains et de lois incontestables

qui lient à jamais son nom glorieux à l'histoire de l'électro-magnétisme.

Entre Ampère et Faraday, l'un tout à la méditation, l'autre tout à l'action, l'un demandant tout à la pensée, l'autre tout aux faits, rien de commun au premier abord. Le premier ressemble au physiologiste qui, partant des lois de la vie, descend à la connaissance des organes et à celle de leur jeu; le second, à l'anatomiste qui, de l'étude matérielle des appareils organiques, s'élève à la conception de leur mécanisme et à l'interprétation de leur rôle dans l'homme vivant. Partis de points opposés, ils arrivent pourtant au même but, et nul ne saurait dire, alors, si la vérité qu'ils révèlent est le fruit d'une forte conception confirmée par l'expérience, ou celui d'une expérience heureuse, interprétée par une intelligence sûre. C'est ainsi qu'un même spectacle s'offre au regard de l'aigle qu'un vol porte au sommet des Alpes et à celui du voyageur qui en a gravi les pentes lentement et pas à pas.

Mais Ampère et Faraday avaient l'un et l'autre la fibre poétique, le cœur ouvert et l'âme haute. Ils ignoraient la jalousie et l'envie. Toute lumière les remplissait de joie, qu'elle vînt du dedans ou du dehors, qu'elle jaillît de leur propre cerveau ou de celui d'un émule. La jeunesse les trouvait pleins de bonté et d'affectueuse bienveillance. Tout succès les rendait heureux. Ils aimaient l'humanité et sa grandeur; ils respectaient son caractère et sa mission sur la terre. Ils se considéraient comme des instruments d'une volonté suprême, à laquelle ils obéissaient avec respect, et si, pour ceux qui ne connaissent que leurs œuvres, ils comptent parmi les génies qui sont l'orgueil des fils des hommes, pour ceux qui ont connu leurs personnes, ils se placent parmi les plus humbles et les plus soumises des créatures de Dieu.

Ampère était universel. L'un des plus profonds géomètres de son époque, quand on le voyait dans l'intimité

de Jussieu, de Cuvier, de Geoffroy Saint-Hilaire, car il aimait les causeries du monde, on se disait : Il sait tout, il comprend tout, il pénètre au delà de tout.

Faraday était plus spécial : chimiste au début de sa carrière, il s'était détourné, peu à peu, vers l'étude de la Physique, et s'était concentré dans l'étude de l'électricité. Plus extérieur, il vivait par les sens autant que par la pensée. Il n'aimait guère les réunions du monde, mais les grandes scènes l'attiraient et le remplissaient d'une ivresse fébrile. Le coucher du soleil dans la campagne, un orage sur les bords de la mer, un effet de brouillard dans les Alpes, excitaient en lui les plus vives sensations; il les comprenait en peintre, il en était ému en poète, il les analysait en savant. Le regard, la parole, le geste, tout trahissait alors en lui l'intime communion de son âme avec l'âme de la nature.

Une belle démonstation l'animait du même enthousiasme. On se souvient de l'ardeur généreuse avec laquelle il exposait, dans une soirée de l'Institution royale et devant Ebelmen [1] ému, les beaux travaux de notre regretté compatriote sur la formation artificielle des gemmes. Où trouver un admirateur qui se soit montré plus passionné pour les beaux spectacles dont un de nos plus illustres confrères, M. Henri Sainte-Claire Deville, rend les chimistes témoins, en produisant par masses le sodium et l'aluminium, en fondant le platine en bains éblouissants de clarté ?...

On ne connaîtrait pas Faraday, si l'on ne pénétrait pas

1. *Joseph-Jacques Ebelmen*, né à Baume-les-Dames en 1814, entra à l'École polytechnique en 1831 et en sortit dans le corps des mines. Rappelé bientôt à Paris, il devint professeur de l'École des mines et remplaça Alexandre Brongniart en 1847 à la direction de la manufacture de Sèvres. Il y fut remplacé lui-même par Regnault. Il a laissé des travaux remarquables sur la composition des gaz dans les hauts fourneaux, sur la réduction des minerais de fer, sur la reproduction artificielle des gemmes, etc. Il mourut prématurément en 1852. — J. G.

assez avant dans sa vie pour mettre en parallèle son amour pour la science et sa foi religieuse : deux formes distinctes, mais inséparables à ses yeux, du culte qu'il rendait à la divinité. Tout ce qui est terrestre, disait-il, peut être connu par l'esprit de l'homme; mais tout ce qui concerne la vie future échappe à cet esprit et doit lui être communiqué par un autre enseignement. Il affirmait donc hardiment une distinction absolue entre les croyances ordinaires fondées sur l'observation des faits, et la foi religieuse fondée sur la révélation.

Faraday appartenait à la secte des *Glassistes* ou *Sandemaniens*, à laquelle sa participation aura donné une célébrité inattendue. Les noms de cette petite Église, qui compte à peine en Angleterre mille adhérents aujourd'hui, sont empruntés à celui de son fondateur Glass, déposé vers 1730, pour ses opinions, par l'Église écossaise, et à celui de son disciple énergique, Sandeman, qui en conserva la foi.

Faraday fut pendant une grande partie de sa vie Ancien de son Église et ne renonça à la prédication qu'au moment où il abandonnait l'enseignement lui-même.

Le nom de Faraday doit donc être ajouté à la liste de ceux qui ont été aussi sincères dans leur foi que profonds dans leur science. Les hommes religieux de l'Angleterre constatent que Newton et Faraday, qu'ils considèrent, l'un, comme le plus élevé des géomètres, l'autre, comme le plus heureux des expérimentateurs, n'ont rien vu dans l'étude de la nature qui pût ébranler leur croyance. Newton, pénétrant dans les profondeurs des cieux, assujettissant pour toujours la marche des astres au calcul et révélant à l'homme les lois du système du monde; Faraday, pénétrant dans les entrailles de la matière, faisant jaillir du choc de ses particules invisibles ou de la rencontre des forces insensibles qu'elles recèlent des pouvoirs merveilleux ou redoutables, ont également gardé, disent-ils, les pieuses convictions de leur enfance. L'or-

gueil du succès ne les a jamais enivrés, et, tandis que leurs propres découvertes servaient, à côté d'eux, d'argument aux incrédules, leur conviction personnelle ne s'est pas démentie un instant.

J'ai beaucoup étudié Faraday; je ne l'ai bien connu, pourtant, qu'après sa mort et par lui-même. Sa perfection, que je croyais spontanée, était le fruit d'une observation constante et d'une fermeté d'âme à toute épreuve. Vers sa vingtième année, ses lettres les plus intimes me le montrent maître de ses vivacités, mais non sans combat; plus tard elles le font voir ayant dompté, mais non sans peine, une fierté toujours près de la révolte; plus tard, enfin, il craint d'avoir écouté le démon de l'orgueil, et il prend volontiers pour texte de ses sermons, qu'on n'a pas oubliés dans sa communauté : « Que la parole divine soit comme le marteau qui brise le rocher, et qu'elle soumette à Dieu toute pensée orgueilleuse et vaine... ».

C'est en séparant les opinions que lui inspirait l'étude de la nature et celles qu'il avait reçues, au sujet des vrais fondements de la religion, et dans lesquelles la réflexion l'avait confirmé, que Faraday n'a jamais été gêné ni par ses progrès personnels, ni par ceux d'autrui, dans le développement de sa pensée scientifique.

Depuis que le monde existe, disait-il, l'opinion n'a-t-elle pas toujours changé avec le progrès des choses? Pourquoi en serait-ce autrement désormais? Je ne crois pas que nous soyons en possession de la plus haute dose d'intelligence qui puisse sortir de la pensée humaine. Nos successeurs seront pour nous ce que nous sommes pour nos ancêtres. Nos corps remplacent leurs corps et nos pensées leurs pensées; nos descendants prendront, à leur tour, par de nouveaux corps et des pensées nouvelles, les places des nôtres. Ce qui l'étonnait le plus, c'était de voir des savants s'opposer au progrès par esprit de système et par une confiance aveugle dans les théories. Ils sont assis sur un trône aux pieds d'argile, disait-il : tant qu'il

est debout, ils barrent le chemin; quand il s'est écroulé, ils l'obstruent.

En tout ce qui concerne les sciences, je n'ai jamais connu d'esprit plus libre, plus dégagé, plus hardi; c'est le résultat de la méthode expérimentale. Il ne croyait même pas à l'existence de la matière, loin de lui tout accorder; il ne voyait dans l'univers qu'une seule force obéissant à une seule volonté. Ce qu'on appelle matière n'était à ses yeux qu'un assemblage de centres de force. Chose étrange assurément! Dans un autre pays, qui donne le pas volontiers à la méthode mathématique, et où certaines témérités sont légèrement portées, ce n'est pas sans difficulté qu'on se persuade, au contraire, que les vérités scientifiques n'ont pas reçu leur dernière expression et qu'on peut y toucher sans sacrilège.

Cependant, douter des vérités humaines, c'est ouvrir la porte aux découvertes; en faire des articles de foi, c'est la fermer. Douter des vérités divines, c'est livrer sa vie aux hasards; y croire, c'est lui donner son lest. Telles étaient la conviction et la règle de Faraday....

Les anciennes machines électriques fournissent une électricité peu abondante; mais le ressort en est tellement tendu, qu'au moment où elle abandonne les corps qui la supportent, pour se précipiter dans le sein de la terre, elle brise tout ce qui s'oppose à son passage.

La pile de Volta fournit une électricité abondante, mais le ressort en est si faible qu'elle agit sur les corps, comme en passant d'une molécule à l'autre. Elle franchit difficilement de grandes distances à travers l'air.

L'électricité des machines de verre et celle des nuées agissent par leur tension, celle de la pile par sa quantité.

Il appartenait à Faraday de découvrir la troisième espèce d'électricité, celle dans laquelle les qualités des deux précédentes se trouvent réunies : car, comme la première, elle lance de longues et foudroyantes étincelles;

comme la seconde, elle pénètre dans l'intérieur des corps pour les échauffer, les fondre, les décomposer.

Sans chercher comment l'électricité naît du frottement d'un plateau de verre ou de la dissolution d'un métal, nous voyons clairement qu'au moment où, dans ces deux cas, les phénomènes électriques apparaissent, ils n'avaient été précédés d'aucune manifestation d'électricité.

Il n'en est pas ainsi de l'électricité induite. Curieux phénomène! Comme son nom l'indique, elle est suggérée par une autre. Un mouvement électrique apparaît-il dans une matière, on le voit se réfléchir dans la matière voisine. Il s'y réfléchit même, comme dans une glace, ce qui est à droite dans l'original se trouvant porté à gauche dans sa copie ou son image.

Si l'on dirige à travers un fil de cuivre un courant continu d'électricité et qu'on place un autre fil de cuivre parallèlement au premier, mais sans communication ni avec lui, ni avec la source d'électricité, ce dernier n'offrira rien de particulier. Mais qu'on rompe ou qu'on rétablisse la circulation de l'électricité dans le premier fil, à chaque rupture et à chaque restitution du courant direct, le second deviendra capable d'agir lui-même sur l'aiguille aimantée, signe visible de la production d'un courant indirect qui s'y manifeste.

Un courant direct, qui commence, développe dans le fil influencé un courant de sens inverse; un courant direct, qui finit, y développe, au contraire, un courant secondaire du même sens. Quand le premier avance, le second recule; quand le premier recule, le second avance.

Qu'on approche ou qu'on éloigne le pôle d'un aimant d'un fil de cuivre, et l'on suscite les mêmes mouvements électriques: c'est ainsi que Faraday, complétant la pensée d'Ampère, nous a appris à transformer le magnétisme en électricité, dans une suite d'expériences qui ont mis plus vivement en lumière l'identité de ces deux forces.

Il a été plus loin, et considérant, avec Ampère encore, la terre comme un grand aimant, il s'en est servi pour exciter des courants électriques d'induction dans des fils de cuivre convenablement disposés pour les mettre en évidence.

Les aimants, le globe terrestre, deviennent donc à volonté des sources d'électricité.

Tous les traités de Physique apprennent aux étudiants de nos lycées et de nos collèges comment Faraday a soumis l'électricité d'induction à une analyse expérimentale pleine de bon sens, de simplicité, de sûreté et de profondeur; comment on est parvenu à rendre excessivement rapide cette rupture et cette restitution du courant, à ramener dans le même sens des actions qui se produisent en sens opposés; enfin, comment le courant secondaire ou induit se trouve renforcé, si l'on contourne les deux fils en spirales qui s'enveloppent et si l'on place un cylindre de fer doux, ou mieux un faisceau de fil de fer, dans la spirale intérieure.

Pour comprendre toute l'importance pratique de la découverte de Faraday, considérée comme source d'une nouvelle manifestation des phénomènes électriques et comme agent puissant mis aux mains de la science et de l'industrie, il suffit de rappeler que c'est elle qui a donné naissance aux machines de Pixii, de Clarke et de Ruhmkorff, dont les étincelles, éclatant en longs jets de feu, forment des traits de Jupiter et sont capables de percer des masses de verre de $0^{m},10$ d'épaisseur.

N'est-il pas digne de remarque que chacune des trois formes sous lesquelles l'électricité s'est manifestée à l'attention, dans les premiers essais dont elle a été l'objet, fût si loin de promettre ce qu'elle a tenu?

Ce morceau d'ambre jaune, qui, frotté d'un drap sec, attire la poussière ou la paille légère, n'a-t-il pas créé ces grandes machines ou batteries électriques, capables de foudroyer l'opérateur imprudent, et donné à Franklin

le moyen d'expliquer le tonnerre ou même d'arracher la foudre aux cieux?

Sulzer nous apprend que deux pièces d'argent et de cuivre, placées l'une au-dessous, l'autre au-dessus de la langue et rapprochées jusques au contact, déterminent une sensation singulière. Volta n'y trouve-t-il pas le principe de la pile? Ne découvre-t-il pas, ainsi, cette force nouvelle, qui décompose tous les corps, isole le potassium, produit une lumière comparable à celle du soleil, une chaleur qu'aucun foyer ne surpasse, et une action physiologique qu'aucun être vivant ne peut supporter? Que nous sommes loin de l'insignifiante expérience de Sulzer! Cette force simule maintenant toutes les actions matérielles de la vie chez un animal récemment tué, fait revivre l'expression de toutes les passions sur la face d'un décapité, rétablit le jeu de la respiration dans la poitrine de son cadavre mutilé, donne à ses bras des mouvements athlétiques, et, si ses mains trouvent un point d'appui, le relève debout et frémissant sur ses pieds agités de convulsions désordonnées.

L'électricité d'induction elle-même, dont l'origine est si humble qu'elle en est insaisissable, n'a-t-elle pas fourni le principe des appareils formidables qui ont fait sauter les estacades du Peïho, ouvrant ainsi la route de Pékin à notre armée; n'a-t-elle pas donné la plupart des appareils que la télégraphie électrique emploie, dépassant par leurs résultats tous les prodiges prévus par les imaginations les plus hardies?

J'ai toujours trouvé que cette légende [1] de la pomme qui tombe et qui révèle en tombant le principe de l'attraction universelle à Newton était l'expression populaire d'une vérité philosophique. Les grands phénomènes éblouissent plus qu'ils n'éclairent.

Dès les premiers âges de l'humanité, le feu a été connu;

1. D'après Biot, ce ne serait pas une légende. Voir plus haut, p. 67.

il y a plus de trois mille ans que la forge ramollit le fer, et que ce métal éclate en vives étincelles; l'incendie a dévoré des forêts, des villes entières. Eh bien! ces brillantes combustions ont-elles enseigné à l'homme comment les combustibles brûlent? Non! C'est au mercure, à ce métal qui brûle sans lumière, sans chaleur sensible, qui exige de longs jours pour réaliser paisiblement des effets que le charbon ou le fer produisent avec éclat, en quelques secondes, qu'il était réservé de fournir le principe de la vraie doctrine de la combustion, dont la démonstration, donnée par Lavoisier, a produit dans le monde des sciences et dans celui des arts industriels la plus grande des révolutions. (DUMAS, *Discours et Éloges académiques*, t. I, p. 53 et suiv : *Éloge de Michel Faraday*.)

CHAPITRE VI

LES AURORES BORÉALES

La chronique de Louis XI rapporte qu'il parut dans le ciel, le 23 juillet 1461, un météore « avec grand resplendisseur et grande clarté, tellement qu'il semblait que tout Paris fût en feu et en flambe, dont Dieu veuille le préserver! » ajoute-t-elle. Le 18 novembre 1465, pendant les troubles de la Ligue du bien public, une apparition semblable produisit la même terreur. « Le roi Louis XI monta à cheval et s'en alla sur les murs; tous les quartiers furent assemblés et chacun prit son poste de garde aux murailles. Le bruit courait que les ennemis, devant Paris, s'en allaient, brûlant et endommageant la ville partout où ils pouvaient, et fut trouvé que, de tout ce, il n'était rien. »

Nous avons connu ces émotions, nous qui avons été témoins, pendant le siège de Paris par l'armée prussienne, des deux aurores boréales du mois d'octobre. Dès le commencement de la nuit, à la première apparition, une lueur se remarquait au nord, et, peu à peu, le ciel s'éclairait d'une nuance rose, qui en envahissait la moitié. De temps à autre s'élançaient des rayons colorés, presque toujours d'un rouge de sang très intense, tandis que se montraient, çà et là, au-dessus de Paris, des plaques rouges, sanglantes aussi. Au moment où le phénomène touchait à son terme et quand le ciel s'assombrissait déjà, on vit, tout d'un coup, la couleur rouge resplendir

encore d'un effrayant éclat. Le lendemain, l'apparition recommençait avec une intensité un peu moindre et laissait voir des irradiations blanches, lumineuses, dont le centre était placé vers la constellation de Pégase; traduisant les impressions de leur âme, les uns en comparaient l'aspect à une gloire, les autres à une croix. Parmi les habitants de Paris, il en est peu que ces phénomènes n'aient saisis de crainte et à qui, dès l'abord, ils n'aient inspiré la pensée qu'une grande machine incendiaire était mise en jeu, pour forcer les murailles ou pour démoraliser leurs défenseurs. Il en est peu qui, voyant qu'il s'agissait seulement d'une aurore boréale d'une espèce rare, n'aient cherché alors quels pronostics heureux ou malheureux pouvait en tirer leur patriotisme ému.

L'aurore du septentrion, comme l'appelait Grégoire de Tours, il y a treize cents ans, offre des aspects qui varient un peu avec les latitudes. Dans les régions polaires, où elle s'observe souvent, elle n'étonne guère et se confond même avec le crépuscule. Dans le centre de l'Europe, où le phénomène, moins fréquent, est presque toujours caractérisé par un ciel sanglant et par des traits rapides, qui jaillissent dans l'espace comme des lances ou des javelots, son aspect justifie les récits qui nous montrent dans le ciel des arméés s'entre-choquant avec fureur, au milieu d'une vapeur enflammée. En Calabre, où les apparitions sont plus rares, on y a vu des arcades, des portiques : le palais de la fée Morgane. La Grèce, toujours poétique et plus rarement favorisée de la visite des aurores polaires, contemplait, dans le ciel embelli par leurs feux, l'assemblée des dieux, tenant conseil sur l'Olympe, en présence de Jupiter.

Que faut-il penser de ces apparitions? Auguste de la Rive [1] les considère comme produites par des conflits élec-

1. *Arthur-Auguste de la Rive*, né à Genève en 1801, appartenait à une très ancienne famille du Genevois, une de celles, dit Dumas, dans lesquelles se personnifie l'histoire de Genève. Son père, Gas-

triques, muets et mystérieux, convergeant vers le pôle magnétique de la terre. Tout le monde connaît, en effet, la lumière électrique dont l'emploi dans les phares manifeste la puissance, et dont les illuminations publiques ou les décorations de la scène tirent un parti populaire. Ce brillant phénomène, découvert par Davy, avait été signalé par Arago, comme devant offrir le spectacle, étrange alors, d'une flamme obéissant à l'action du barreau aimanté. L'expérience réalisa ses prévisions. Lorsqu'on approche l'un des pôles d'un fort aimant de cet arc électrique enflammé, il en est attiré ou repoussé; sa courbure augmente, l'éclat de la flamme diminue; elle varie par secousses, par éclairs diversement colorés, avec un bruissement d'étoffes de soie froissées, et l'arc se rompt, enfin, lorsque sa courbure, trop prononcée, allongeant l'espace parcouru, l'électricité cesse de passer. Une aiguille aimantée, placée dans le voisinage, manifeste, par son agitation incessante, qu'elle est troublée par une force magnétique énergique. N'est-ce pas là l'image d'une aurore polaire?

Arago avait consacré de longues années à constater

pard de la Rive, après avoir échappé avec peine à l'échafaud en 1794, devint professeur de chimie à l'Université de Genève. Les principaux travaux d'Auguste de la Rive, appelé bientôt lui-même à la chaire de physique de l'Université, se rapportent à l'électricité. Son *Traité d'électricité* est une œuvre importante à tous égards. C'est lui qui a donné le principe de la dorure et de l'argenture électriques. Il a publié en outre dans la *Bibliothèque universelle* de Genève un nombre considérable d'articles de critique scientifique et de biographies de savants (de Candolle, Volta, Faraday, Verdet, etc.). Il a été lié avec nombre d'hommes éminents de son temps : Ampère, Arago, Faraday, de Tocqueville, de Montalembert, Rossi, Cavour, Dumas, etc. Malgré son grand âge, il se multiplia avec les siens pour procurer des secours à nos soldats réfugiés en Suisse en 1871. Il fut l'un des huit associés étrangers de l'Institut de France, et peu d'hommes ont laissé une mémoire plus respectée. Il mourut à Marseille le 24 novembre 1873, en se rendant à Cannes. On lira avec intérêt la belle notice que lui a consacrée Dumas dans ses *Discours et Éloges académiques*. — J. G.

l'influence des aurores boréales sur l'aiguille aimantée; souvent il lui est arrivé d'annoncer l'apparition d'une aurore, avant même qu'elle se fût manifestée dans le nord de l'Europe. Mais son esprit circonspect ne se hâtait point de se prononcer. Auguste de la Rive reprit le sujet ou, pour mieux dire, s'en empara, s'y dévoua même, et, parmi les motifs des regrets que nous fait éprouver la mort prématurée de notre illustre confrère, se place la perte pour la science de l'ouvrage qu'il préparait sur les aurores boréales, et dont il avait, de longue main, réuni les matériaux. Tout le monde a vu, du moins dans les cours publics, l'appareil au moyen duquel il a reproduit les circonstances fondamentales de ce phénomène, qu'il considérait comme dû à la formation d'un anneau lumineux, ayant pour centre le pôle magnétique de la terre et pour siège les régions supérieures de l'air. En opérant, dans un gaz raréfié, la réunion des deux électricités autour du pôle d'un fort aimant, il fit apparaître, en effet, un anneau lumineux, animé d'un mouvement magique de rotation autour de ce même pôle. L'expérience de notre confrère est si belle, qu'elle sera toujours admirée, même des physiciens peu nombreux qui, considérant encore l'aurore boréale comme ayant sa source plus haut que l'atmosphère terrestre, lui attribuent une origine cosmique, qu'il n'a jamais admise. Voici ce qu'il m'écrivait encore peu de temps avant d'être atteint de la maladie à laquelle il a succombé : « Aidez-moi à défendre une théorie que je crois fondée sur des faits incontestables; elle était déjà celle de Franklin et d'Arago, avec moins de précision. Les auteurs qui ne songent qu'aux aurores brillantes oublient que presque tous les jours il y en a qui se passent, sans éclat, dans les régions polaires. Je ne connais pas un seul observateur, placé dans nos contrées septentrionales, qui n'ait adopté les vues que j'ai exposées. N'est-ce pas une présomption, en leur faveur, que d'avoir pour elles tous ceux qui vivent au milieu des phénomènes

qu'elles cherchent à expliquer? Faudrait-il les abandonner, quand on a seulement contre elles ceux qui ne les observent que de loin en loin, sous l'impression aveuglante d'une surprise qui ne laisse pas toujours une entière liberté d'appréciation? »

Sous l'équateur, à la place de ces orages magnétiques, silencieux et secs, des orages électriques accompagnés de tonnerre et de pluie marquent, pour ainsi dire, le cours du soleil, et, s'il y a constamment quelque phénomène auroral, plus ou moins distinct, à chaque pôle, il y a toujours un orage plus ou moins bruyant, sur quelque point de l'équateur. A quoi servent ces manifestations électriques, en permanence, à travers l'atmosphère de la terre? Nous ne sommes guère en état de l'apprécier avec certitude, mais il est un point toutefois que notre confrère avait aperçu.

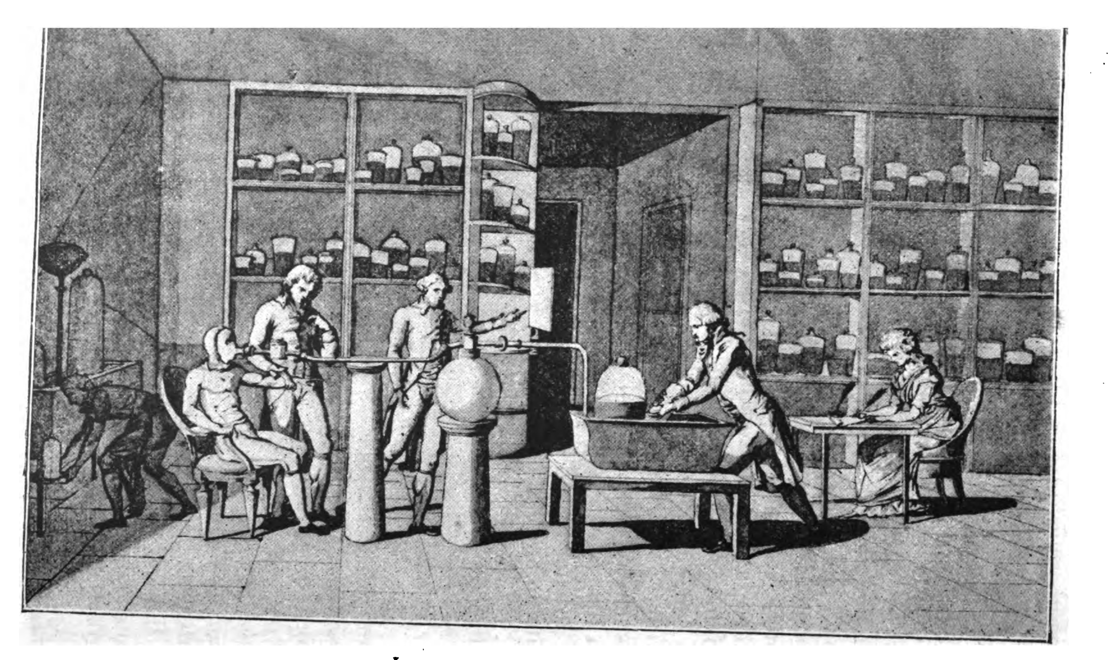
Lorsque, il y a cent ans, Priestley découvrait l'oxygène, l'agent de la combustion et de la respiration, la médecine s'empressait d'y voir un auxiliaire précieux et quelques enthousiastes d'y chercher un moyen de prolonger la vie. Les expériences de M. Bert prouvent, pourtant, que cet air vital, porté dans le poumon à l'état de pureté, serait un poison mortel pour l'homme.

Ce même oxygène, dès qu'on l'électrise, se montre accompagné d'une substance très odorante, blanchissant les couleurs organiques, irritant violemment les organes respiratoires et convertissant en salpêtre les produits animaux. C'est l'ozone de M. Schönbein, que le célèbre professeur de Bâle retrouvait parfois dans l'air et surtout dans l'air électrisé par les nuages orageux. Auguste de la Rive et son savant ami M. de Marignac ont fait voir que l'ozone est de l'oxygène modifié, conclusion rendue incontestable par nos deux éminents confrères, MM. Fremy et Becquerel fils.

L'oxygène pur serait donc mortel; mitigé dans l'air qui nous entoure, c'est lui qui entretient la vie. L'oxygène

ozonisé serait donc toxique; à doses modérées, c'est lui qui purifie l'air empesté, et qui féconde le sol ouvert par la charrue, en donnant aux engrais leur signification agricole.

Si c'est le hasard qui, dans l'atmosphère de la terre, a délayé l'oxygène au point précis qui convient à la respiration de l'homme; si c'est lui qui fait naître, à propos, l'ozone, pour détruire les germes qui menacent notre vie, ou pour préparer la nourriture nécessaire aux plantes qui nous alimentent; si c'est le hasard qui marque des limites à la concentration de l'oxygène, en rendant presque immuable la quantité du gaz inerte dont il est mêlé dans l'air que nous respirons; si c'est lui qui a rendu, de la sorte, possible et durable, à travers de longs siècles, l'existence de l'homme sur la terre, répétons, avec Auguste de la Rive et en complétant sa pensée, que le hasard est bien intelligent; qu'il est même trop intelligent, et qu'il mérite un autre nom. (Dumas, *Discours et Éloges académiques*, t. I, p. 279 : *Éloge d'Auguste de la Rive*.)



Lavoisier dans son laboratoire.

Expériences sur la respiration de l'homme au repos. Fac-similé d'un dessin de Mme Lavoisier, reproduit d'après la sépia publiée par M. Grimaux dans son volume intitulé : *Lavoisier*. (Paris, Alcan.)

LA CHIMIE

LIVRE I

LAVOISIER

CHAPITRE I

LA VIE ET L'ŒUVRE DE LAVOISIER

« La chimie est une science française. Elle fut constituée par Lavoisier, d'immortelle mémoire. Pendant des siècles, elle n'avait été qu'un recueil de recettes obscures, souvent mensongères. »

C'est par ces paroles que Wurtz commence son histoire des doctrines chimiques placée en tête du *Dictionnaire de chimie pure et appliquée* [1]. Elles sont graves, et elles ont excité des réclamations aussi passionnées qu'injustes en Allemagne et en Angleterre. Nous ne pouvons les discuter ici en détail. Nous indiquerons seulement les principaux ouvrages à consulter : DUMAS, *Leçons sur la Philosophie chimique*. Paris, Gauthier-Villars, 1 vol. in-8. — WURTZ, *Histoire des doctrines chimiques*. Paris, Hachette, 1 vol. in-12. — BÉCHAMP, *Lettres historiques sur la*

1. Paris, Hachette, 5 vol. in-8 et 2 de supplément. Un 2e supplément sous la direction de M. Friedel est en cours de publication. — L'*Histoire des doctrines chimiques* a été publiée à part. — J. G.

chimie. Paris, Masson, 1876, 1 vol. in-8. — Un article remarquable du professeur Rodwell, de Marlborough College, dans la *Revue scientifique* du 26 mai 1883. — Une étude étendue sur *Lavoisier, sa vie et son œuvre* dans le *Cosmos* (nos du 23 juin 1888 au 22 septembre 1888); — enfin et surtout deux ouvrages récents et considérables : Grimaux, *Lavoisier*, Paris, Alcan, 1888, 1 vol. in-8, et Berthelot, *la Révolution chimique*, 1 vol. in-8.

Le livre de M. Grimaux notamment, publié d'après les papiers de famille mis à sa disposition par le petit-neveu de Lavoisier, contient sur la vie du grand homme des détails absolument inédits. Les chapitres sur la mort et sur la jeunesse de Lavoisier ont été publiés en 1887 par la *Revue des Deux Mondes* (15 fév. et 15 déc.). M. Berthelot étudie l'œuvre de Lavoisier. Les œuvres complètes de Lavoisier ont été publiées par les soins de M. Dumas, sous le patronage de l'Académie des sciences, en 4 volumes in-4, Paris, Imprimerie nationale et chez Didot. Un 5e volume contenant la correspondance de Lavoisier, est annoncé et confié aux soins de M. Grimaux.

Lavoisier (*Antoine-Laurent*) est né à Paris, le 26 août 1743, sur la paroisse Saint-Merry, d'une famille originaire de Villers-Cotterets. Son père, Jean-Antoine Lavoisier, était procureur au Parlement. Sa mère, Émilie Punctis, mourut jeune en 1748. Lavoisier avait cinq ans. Son père vint alors habiter rue du Four-Saint-Eustache (aujourd'hui, rue de Vauvilliers) avec sa belle-mère, Mme Punctis, veuve elle-même depuis peu, et sa belle-sœur, Mlle Constance, alors âgée de vingt-deux ans. On doit savoir gré à M. Grimaux d'avoir tiré de l'oubli cette touchante figure. Mlle Constance Punctis, femme de cœur et d'intelligence, se consacra en effet entièrement à son neveu et à sa nièce; c'est elle qui fut la vraie mère de Lavoisier.

C'est dans cette famille, attristée déjà par tant de deuils, bientôt encore par la mort d'une sœur cadette de Lavoisier, enlevée à l'âge de quinze ans, que s'écoulèrent l'enfance et la jeunesse de Lavoisier. Sa grand'mère Punctis, son père, sa tante Constance ne vivaient que pour lui. Il se montra du reste digne de toutes les affections dont il était l'objet. « Gai, affectueux, comme le montrent ses lettres de jeunesse, dit M. Grimaux (p. 3), plein d'ardeur pour l'étude, il eut de nombreux succès et obtint, en 1760, le second prix de discours français au concours général, dans la classe de rhétorique du collège Mazarin, dont il

suivait les cours en qualité d'externe. » L'année suivante, en philosophie, son goût se prononça de plus en plus pour les sciences expérimentales; toutefois, il poursuivit ses études littéraires, se fit recevoir bachelier en droit le 6 septembre 1763, licencié le 26 juillet 1764, puis avocat au Parlement. Son père le laissa enfin pleinement libre de s'adonner aux sciences.

Il étudie donc les mathématiques et l'astronomie avec le savant abbé La Caille, de retour du Cap de Bonne Espérance où il était allé mesurer un arc de méridien; la botanique avec Bernard de Jussieu; la géologie avec Guettard, qui l'emmène avec lui en voyage dans les Vosges et en Alsace, en 1767, et qui faillit l'engager définitivement dans l'étude de la géologie; la chimie enfin avec Rouëlle. Il ne vivait pour ainsi dire qu'avec ses maîtres.

Ses premiers mémoires scientifiques, commencés à l'âge de vingt et un ans, en 1764, au sortir de l'École de droit, furent lus à l'Académie des sciences en 1765 et 1766. Ils ont pour objet l'étude du gypse, de sa composition, de ses propriétés. Ils sont déjà d'un maître et attirèrent l'attention de l'Académie. Aussi, peu d'années après, une place d'associé étant devenue vacante dans la section de chimie, Lavoisier y fut nommé le 18 mai 1768, malgré son âge (il n'avait pas vingt-cinq ans), grâce à l'appui de l'astronome Lalande. Son concurrent, le minéralogiste Jars, oublié depuis, était cependant vivement patronné par un puissant ministre, le duc de Choiseul, et par Buffon, qu'on aurait aimé à voir, en cette circonstance, moins courtisan et meilleur juge de la valeur des deux candidats.

Cette nomination, on le pense bien, causa une vive joie dans ce cercle si uni et si affectueux de la famille Lavoisier où M. Grimaux nous a introduits :

« Je vois la joie briller dans vos yeux, écrit à Mlle Punctis un cousin, M. Augez de la Voye, en apprenant que ce cher neveu, l'objet de toutes vos complaisances, est nommé à l'Académie des sciences. Quelle satisfaction que dans un âge si tendre, où les autres jeunes gens ne songent qu'à leur plaisir, ce cher enfant ait fait de si grands progrès dans les sciences qu'il obtienne une place que l'on n'obtient ordinairement, après beaucoup de peine, qu'à plus de cinquante ans.... »

La même année, 1768, Lavoisier entra dans les Fermes comme adjoint du fermier général Baudon. Ses collègues de l'Académie des sciences virent avec peine cette décision; ils craignaient que Lavoisier, absorbé par les affaires, fût perdu pour la science; beaucoup de fermiers généraux, d'autre part, redoutaient que ce jeune savant ne leur apportât pas un concours assez efficace et pratique. Il ne tarda pas à montrer aux uns et aux autres combien leurs craintes étaient vaines. Son activité suffit à tout : en même temps qu'il se montre administrateur incomparable, il va entreprendre ses grandes recherches sur l'air, sur l'eau, sur la combustion et créer la Chimie. En 1769, 1770 et 1771, il prend part, avec ses collègues des fermes, notamment avec J. Delahante, de Parseval et Paulze, à de nombreuses tournées d'inspection dans le nord de la France, étudiant avec soin toutes les questions relatives à la culture et à la fabrication du tabac, sans négliger ses observations scientifiques personnelles.

Les préventions qui avaient accueilli l'entrée de Lavoisier aux Fermes n'avaient pas tardé à être dissipées : il avait suffi de le voir à l'œuvre dans les premières années. Parmi ceux qui faisaient le plus de cas de lui se trouvait Jacques Paulze, avocat au Parlement et fermier général titulaire depuis 1768.

« Financier habile et probe, nous dit M. Grimaux, il tint souvent tête à l'abbé Terray dans les questions d'affaires; intelligent et instruit, il fut le directeur de la Compagnie des Indes. »

Il donna à son jeune collègue sa fille en mariage en 1771. On trouvera dans le livre de M. Grimaux d'intéressants détails sur ce mariage et sur la jeunesse de Mme Lavoisier.

Elle s'était mise immédiatement à l'étude [1] pour se rendre digne de lui. Elle demandait à son frère Balthasard des leçons de latin et lui écrivait en 1777 (elle avait alors dix-neuf ans) :

« Quand reviens-tu? le latin a besoin que tu sois ici; viens t'ennuyer à me faire décliner et conjuguer pour me faire plaisir et me rendre digne de mon mari et de tes soins. »

1. Grimaux, *Lavoisier*, p. 42.

Elle apprend l'anglais et traduit à son mari les mémoires de Priestley, de Cavendish, etc.; elle publie même la traduction de l'ouvrage de Kirwan sur le Phlogistique [1]. Elle aide son mari au laboratoire : une partie des registres du laboratoire de Lavoisier sont de la main de sa femme. C'est elle qui a fait les planches du *Traité de Chimie* publié en 1789. Elle écrit à de Saussure et le convertit à la doctrine nouvelle :

« Vous triomphez de mes doutes, Madame, lui écrit de Saussure, le 7 novembre 1788 [2], du moins sur le phlogistique, principal objet de l'intéressant ouvrage dont vous m'avez fait l'honneur de m'envoyer un exemplaire. J'étais autrefois grand admirateur de Stahl, c'est dans ses ouvrages que j'ai puisé ma première notion sur la chimie, et les objections que l'on avait élevées contre sa doctrine n'avaient point encore opéré sur moi une conviction parfaite. Mais les préventions les plus fortes doivent céder à la force des raisonnements de M. Lavoisier et de ses savants amis. Lorsque je compare la clarté et la justesse de leurs arguments avec la confusion et le vague qui règnent dans les objections de M. Kirwan, je ne puis pas m'empêcher de penser que, malgré la netteté et la précision avec lesquelles vous avez rendu ses idées, l'honneur que vous lui avez fait, Madame, de le traduire aura été funeste à sa réputation.... » — « Mme Lavoisier, dit Arthur Young, qui lui rendit visite en octobre 1787, une personne pleine d'animation, de sens et de savoir, nous avait préparé un déjeuner anglais au thé et au café; mais la meilleure partie de son repas, c'était, sans contredit, sa conversation soit sur l'*Essai sur le Phlogistique* de M. Kirwan, qu'elle est en train de traduire, soit sur

1. *Essai sur le phlogistique et sur la constitution des acides*, traduit de l'anglais de M. Kirwan, avec des notes de MM. de Morveau, Lavoisier, de la Place, Monge, Berthollet et de Fourcroy. Paris, 1788, 1 vol. in-8.
2. Grimaux, *loc cit.*, p. 44.

d'autres sujets qu'une femme de sens, travaillant dans le laboratoire de son mari, sait si bien rendre intéressants. »

En 1775 Lavoisier avait été nommé en outre régisseur des poudres et salpêtres. Il alla alors habiter, à l'Arsenal, avec sa jeune femme et sa tante Constance Punctis (son père mourut la même année), un hôtel auquel lui donnaient droit ses nouvelles fonctions. Il occupa ce logement jusqu'à ce que la Révolution vînt l'en chasser en 1792 [1]. C'est là qu'il avait installé son laboratoire, ce laboratoire fameux entre tous, où d'immortelles découvertes renversèrent des erreurs séculaires et fondèrent la chimie. Cet hôtel a disparu pendant les incendies de la commune en 1871.

Avec la Révolution trop d'occupations malheureusement le retinrent loin du laboratoire. Député suppléant à l'Assemblée nationale, membre de la commune de 1789, administrateur de la Caisse d'escompte, bientôt commissaire de la Trésorerie nationale, il fut encore trésorier de l'Académie et membre de la Commission des poids et mesures, dont il dirigea le fonctionnement en même temps qu'il se chargeait avec Haüy de déterminer la densité de l'eau pour établir l'unité de poids. Aussi avec le *Traité de Chimie* [2] est close pour lui l'ère des grandes découvertes; mais, dans l'espace de vingt ans, il avait renversé la doctrine du phlogistique, apporté une philosophie nouvelle dans la conception des éléments, découvert la nature complexe de l'air, montré son rôle dans les phénomènes de la combustion vive et de la combustion respiratoire, créé la calorimétrie, fixé les méthodes

1. Il alla alors habiter, jusqu'à son emprisonnement, une maison située boulevard de la Madeleine, démolie depuis et remplacée par les constructions du n° 21 actuel. Une partie des jardins primitifs subsiste encore.

2. Paris, Cuchet, 1789, 2 vol. in-8. — La 2e édition parut en 1793. — La 3e en 1801, chez Deterville.

de l'expérimentation, exposé la loi de l'indestructibilité de la matière. Toute la science moderne n'est que le développement de l'œuvre de Lavoisier. Si quelques historiens de la science, mus par un esprit étroit d'exclusivisme, ont cherché à rabaisser son génie au profit de ses contemporains, c'est qu'ils ont insuffisamment étudié cette œuvre et ne l'ont abordée qu'avec d'inqualifiables partis pris. (GRIMAUX, *Lavoisier*, p. 128.)

En 1792, Lavoisier refusa d'entrer au ministère, M. Grimaux a publié (p. 215) la belle lettre qu'il écrivit à Louis XVI à cette occasion, et il se consacra entièrement à l'Académie des sciences et à ses fonctions de membre de la Commission des poids et mesures et du bureau de Consultation. Mais ni l'éclat de ses découvertes, ni tant de services rendus ne purent le sauver. Il fut arrêté le 28 novembre 1793 (8 frimaire an II) avec son beau-père Paulze et la plupart des fermiers généraux, et enfermé d'abord dans l'ancien couvent de Port-Royal, devenu Port-Libre, dans des bâtiments qui subsistent encore. Le 24 décembre, il fut, avec ses compagnons, transféré dans l'ancien hôtel des Fermes transformé en prison. Ils ne devaient le quitter que pour passer à la Conciergerie (7 mai 1794) et de là à l'échafaud (8 mai). Ils furent enterrés dans la fosse commune du cimetière de la Madeleine [1].

Mme Lavoisier avait en vain fait tous ses efforts pour sauver son mari et son père. Elle fut emprisonnée elle-même et courut les plus grands dangers. Rendue à la liberté après le 9 thermidor, elle fut réduite pour subsister à accepter les secours d'un ancien serviteur qui la nourrissait du produit de son travail. Enfin, en 1796, elle obtint la restitution des papiers, livres, instruments de laboratoire de son mari, ainsi que d'une partie de sa fortune. M. Guizot, qui l'avait connue, lui a consacré une intéressante notice. Nous y faisons quelques emprunts.

1. C'est sur l'emplacement de ce cimetière que s'élèvent actuellement les bâtiments connus sous le nom de *Chapelle expiatoire* (boulevard Haussmann et rue d'Anjou). — L'une des rues voisines porte le nom de *Lavoisier*. — J. G.

Elle (Mme Lavoisier) vivait dans le laboratoire de M. Lavoisier, l'aidait dans ses expériences, écrivait ses observations sous sa dictée, traduisait, dessinait pour lui. Elle apprit à graver pour qu'il fût sûr d'un ouvrier exact jusqu'au scrupule, et les planches du *Traité de Chimie* furent bien réellement l'œuvre de ses mains. Elle publia, parce qu'il le désirait, la traduction d'un ouvrage du chimiste anglais Kirwan « sur la force des acides et la proportion des substances qui composent les sels neutres », et elle avait acquis dans la science qu'ils cultivaient ensemble une intelligence si complète, que lorsque, en 1805, onze ans après la mort de Lavoisier, elle voulut réunir et publier ses mémoires scientifiques, elle put se charger seule de ce travail, et l'accomplit en effet, en y joignant une préface parfaitement simple, où ne se laisse entrevoir aucune ombre de prétention.

En 1798, lorsqu'une proscription à la fois cruelle et honteuse d'elle-même frappa quelques-uns de ses amis, entre autres l'un des plus intimes, M. de Marbois, une lettre de crédit de Mme Lavoisier sur son banquier de Londres, alla le chercher dans les déserts de Sinamary.

Quand les proscriptions cessèrent, quand l'ordre et la justice revinrent apaiser et ranimer en même temps la société, Mme Lavoisier reprit sa place dans le monde, entourée de toute une génération de savants illustres, les amis, les disciples, les successeurs de Lavoisier, Lagrange, Laplace, Berthollet, Cuvier, Prony, Humboldt, Arago, charmés en honorant sa veuve, de trouver dans sa maison, en retour de l'éclat qu'ils y répandaient, les agréments d'une hospitalité élégante. M. de Rumfort arriva parmi eux. Il était alors au service du roi de Bavière et jouissait dans le public d'une grande popularité scientifique. Son esprit était élevé, sa conversation pleine d'intérêt, ses manières empreintes de bonté. Il plut à Mme Lavoisier. Il s'accordait avec ses habitudes, ses goûts, on pourrait presque dire ses souvenirs. Elle espéra

recommencer en quelque sorte son bonheur. Elle l'épousa le 22 octobre 1805, heureuse d'offrir à un homme distingué une grande fortune et la plus agréable existence.

Leurs caractères ne se convinrent point.... Des questions délicates furent élevées; des susceptibilités s'éveillèrent. Mme de Rumfort, en se remariant, avait formellement stipulé dans son contrat qu'elle se ferait appeler Mme Lavoisier de Rumfort. M. de Rumfort, qui y avait consenti, le trouva mauvais. Elle persista.

Après des agitations domestiques que M. de Rumfort, avec plus de tact, eût rendues moins bruyantes, la séparation devint nécessaire, et elle eut lieu à l'amiable le 30 juin 1809.

Depuis cette époque, et pendant 27 ans, aucun événement, on pourrait dire aucun incident ne dérangea plus Mme de Rumfort dans sa noble et agréable façon de vivre. Elle n'appartint plus qu'à ses amis et à la société, tantôt étendue, tantôt resserrée, qu'elle recevait avec un mélange assez singulier de rudesse et de politesse, toujours de très bonne compagnie et d'une grande intelligence du monde, même dans ses brusqueries de langage et ses fantaisies d'autorité.

Elle vivait surtout dans son salon. Elle y est morte en quelque sorte debout, le 10 février 1836, entourée, la veille encore, de personnes qu'elle se plaisait à y réunir, et qui n'oublieront jamais ni l'agrément de sa maison, ni la solidité de ses amitiés. (Guizot, *Notice sur Madame Lavoisier de Rumfort.*)

On ne peut se faire une idée nette de l'œuvre de Lavoisier et vérifier l'exactitude des paroles de Wurtz, si on ne connaît l'état de la science à la fin de xviiie siècle. On peut consulter dans ce but les ouvrages suivants : c'est la meilleure préparation à l'étude des œuvres de Lavoisier.

Le *Manuel de Chymie*, de Baumé, maître apothicaire à Paris et démonstrateur en chymie. Paris. 2e édition. 1765. — La *Chymie expérimentale et raisonnée* du même. Paris, chez Didot

le jeune. 1773. 3 vol. in-8. — Le *Traité chimique de l'air et du feu*, par CH. G. SCHEELE, membre de l'Académie royale des sciences de Suède, traduit de l'allemand par le baron *Dietrich*, à Paris, 1781. — Les *Mémoires de Chymie*, du même, traduits du suédois et de l'allemand. Paris, 1785, 2 vol. in-12. — L'*Essai sur le phlogistique et sur la constitution des acides*, traduit de l'anglais de KIRWAN (par Mme Lavoisier), à Paris, 1788, 1 vol. in-8, etc.

La *Chimie* de Baumé et le *Dictionnaire* de Macquer étaient entre les mains de tous les étudiants et de tous les chimistes. La première surtout présente encore un réel intérêt : elle offre des qualités d'ordre et de clarté qui expliquent son succès. C'est donc un excellent témoin à consulter sur l'état de la science à cette époque.

La Chimie était une science essentiellement descriptive et qualitative. On se servait bien de la balance, mais pour déterminer les proportions de certains corps nécessaires pour obtenir un résultat déterminé, proportions déterminées d'une façon purement empirique et nullement par la connaissance des propriétés ou de la composition des corps, non plus que des réactions à produire; elle ne servait pas aux analyses, et le principe des équations chimiques : la somme des corps employés égale la somme des corps obtenus, qui guide sans cesse Lavoisier, n'apparaît nulle part. La seule analyse connue est l'analyse qualitative, et comme elle n'est pas contrôlée par l'analyse quantitative, que la véritable nature de l'air et de l'eau est inconnue, ainsi que la façon dont ces corps interviennent dans les phénomènes chimiques, elle conduit souvent à des conséquences inexactes. On ne s'est pas encore avisé que : *en Physique comme en Géométrie, le tout est égal à ses parties*, comme le diront bientôt Lavoisier et Laplace.

« Les chymistes [1], nous dit Baumé, donnent le nom d'*Eléments* à des substances simples, inaltérables, auxquelles on ne connaît point de parties constituantes : tels sont le *feu*, l'*air*, l'*eau* et la *terre*. On leur a aussi donné le nom de *principes primitifs*, parce qu'ils sont en effet les premiers principes des corps, et qu'ils entrent

1. BAUMÉ, *Chymie expérimentale et raisonnée*, Paris, 1773, I, 39.

comme principes constituants dans la composition des corps composés; du moins, ils se manifestent dans toutes les analyses et décompositions chymiques, comme derniers résultats qu'on ne peut plus décomposer.

« Ces quatre substances ne se trouvent pas toujours réunies dans tous les corps de la nature indistinctement : les végétaux et les animaux les contiennent bien toutes; mais la plupart des matières du règne minéral, et spécialement les terres vitrifiables, sont absolument dépourvues d'air et d'eau. »

Cependant, Stahl, tout en admettant les quatre éléments et leur reconnaissant « toute la simplicité des vrais principes primitifs », pense, avec les philosophes grecs, que le feu, l'air, la terre et l'eau sont eux-mêmes composés de substances encore plus simples. Mais Stahl ne s'explique pas sur ce qu'il entend par ces substances encore plus simples. Aussi Baumé peut-il ajouter :

« Lorsque nous examinerons (*loc. cit.*, I, 44) les propriétés de ces substances (du feu, de l'air, de l'eau et de la terre), nous les considérerons avec les meilleurs chymistes-physiciens, comme les seuls et vrais principes des corps, parce que nous ne connaissons, quant à présent, aucun moyen pour les décomposer, ou pour leur causer la moindre altération. »

Baumé étudie ensuite les propriétés de chacun de ces éléments, et il *essaie* de les définir :

« Le feu pur est un élément (I, 48) qu'on ne peut définir; on ne peut que reconnaître ses propriétés.... Il est le seul corps qui ait de la saveur et qui la donne aux substances qui en ont.... On n'est pas certain (I, 56) si le feu est ou n'est pas pesant. Il y a des expériences pour et contre ces deux sentiments. »

Et après avoir rapporté les expériences relatives à l'augmentation de poids des métaux par la calcination et les explications qu'on a données, il conclut (*loc. cit.*, p. 58.) :

« Il résulte de tout ceci que le feu est réellement pesant, lorsqu'il est combiné dans les corps; qu'il est encore pesant, lorsqu'il est libre et pur, mais que dans ce dernier état, on ne peut apprécier son poids, parce qu'il ne touche point les corps qu'il pénètre, et qu'il est continuellement dans un mouvement excessif. »

« L'*air* (p. 63) est un élément indestructible, inaltérable par tous les moyens connus jusqu'à présent dans la chymie. »

« L'*eau* (p. 70) est un élément primitif, indestructible, inaltérable dans toutes les opérations de la chymie. »

« La *terre* élémentaire (p. 90) est aussi difficile à définir que le feu, l'air et l'eau. La meilleure définition qu'on en peut donner est de dire que c'est un élément, et qu'il joue son rôle dans la nature, conjointement avec les autres éléments, pour former tous les corps composés qui existent. »

« Peut-être la nature (p. 119) combine-t-elle immédiatement les éléments deux à deux et trois à trois par des moyens qui nous sont absolument inconnus. Si ces combinaisons simples existent, elles seraient autant de principes secondaires, ou de principes principiés, dont la Nature ferait usage pour former des corps composés. Les connaissances nous manquent absolument sur cet objet. Nous ne sommes pas plus instruits sur la combinaison immédiate des quatre éléments; nous savons seulement qu'ils ont une telle disposition à se mêler, qu'il est absolument impossible de les avoir parfaitement purs et isolés les uns des autres. »

A ces quatre éléments, il convient d'ajouter un principe, le *phlogistique*, sur lequel on avait des idées encore moins nettes. Aussi, M. Dumas a-t-il pu dire que chaque chimiste en était venu à se faire un phlogistique à sa guise.

« Il résulte [1], dit Baumé, des sentiments de Stahl et de Boerhaave, sur le phlogistique, qu'on doit le considérer comme une substance composée, formée de l'union directe du feu élémentaire avec une matière très simple qui nous est encore inconnue. On est en droit de présumer que c'est une terre très subtile qui fixe ainsi le feu élémentaire. C'est vraisemblablement dans cet état de combinaison que le feu entre comme principe dans la composition des corps.

« Il est certain que le feu ne peut être que sous deux états, c'est-à-dire ou pur ou combiné. S'il est pur, c'est du feu élémentaire, et alors il agit sur tous les corps qu'il touche, comme je l'ai dit dans ma définition du feu; dans cet état il n'est point phlogistique.

« Le phlogistique, au contraire, est ce même feu élémentaire combiné avec le moins de substance possible; enfin, ce même feu fixé avec une substance très simple, qui lui fait perdre toutes ses propriétés de feu pur.... »

« Le phlogistique doit être considéré comme un vrai principe secondaire, formé de l'union directe du feu élémentaire et d'une substance quelconque, puisqu'on peut le décomposer et en séparer le feu élémentaire.

« Il résulte de tout ceci que le phlogistique n'est pas du feu pur, et qu'il a besoin d'un corps actuellement embrasé ou d'un grand frottement entre les matières qui le contiennent pour s'enflammer et produire de la chaleur. »

Interrogeons maintenant Scheele dans son célèbre *Traité de l'air et du feu*, publié pour la première fois en 1777, et traduit en français en 1781.

« La chaleur [2], le feu et la lumière sont, d'après leurs matières principes, la même chose que de l'air pur et du phlogistique : mais la proportion, et peut-être la manière

1. Baumé, *Manuel de chymie*, p. 44.
2. Scheele, *Traité*, etc. Avant-propos, p. xlii.

dont ils sont combinés, occasionnent leur grande différence. Le phlogistique paraît être une matière réellement élémentaire, qui pénètre la plupart des substances, et qui s'y maintient avec opiniâtreté. On connaît différents moyens de l'en séparer plus ou moins parfaitement. C'est l'air pur qui, de toutes les substances connues jusqu'à présent, est la plus efficace. Aussi ai-je placé son signe à la tête de la colonne du phlogistique de ma nouvelle table d'affinités. »

.... « La combinaison de l'air (p. 74) avec le phlogistique est un composé si subtil, qu'il est susceptible de pénétrer les pores imperceptibles du verre et de se disperser en tous sens dans l'air. »

Et plus loin (p. 130) : « Il n'est pas moins certain que la lumière doit être mise au rang des corps comme la chaleur; mais je suis d'autant moins porté à croire que la lumière et la chaleur ne soient qu'une seule et même chose, que le contraire me paraît prouvé par des expériences. »

Lavoisier et Priestley.
La théorie de la combustion.

Les premières notions justes et précises que l'on ait eues sur la respiration des animaux, et sur les modifications qu'elle produit dans l'air où ils séjournent, sont dues à Lavoisier. Sans doute, avant lui, on avait constaté un grand nombre de faits qui sont des conséquences de cet acte. Ainsi, on avait reconnu bien anciennement que les animaux ne peuvent vivre qu'un temps limité, dans une quantité donnée d'air atmosphérique. Bientôt ils y languissent, ils s'y assoupissent. Ce sommeil, d'abord paisible, est bientôt suivi d'une grande agitation. La respiration devient pénible et précipitée; enfin l'animal meurt dans des mouvements convulsifs. Ces accidents se

succèdent avec une rapidité d'autant plus grande, que le volume d'air, où les animaux sont renfermés, est moindre relativement à leur volume propre; étant toutefois plus lents, ou plus prompts à s'accomplir, selon le genre d'organisation et la vigueur des individus. On savait encore que l'air, ainsi modifié par la respiration d'un animal, devient impropre à entretenir la vie et la combustion. Priestley avait reconnu que cette impropriété lui était commune avec plusieurs autres substances aériformes, distinctes entre elles. Il l'avait communiquée à l'air atmosphérique ordinaire, en y introduisant, sous des cloches de verre renversées, plongeant dans l'eau, une autre espèce d'air, que nous appelons aujourd'hui le *deutoxyde d'azote* et qu'il appelait l'*air nitreux*, lequel réduisait le volume de l'air ordinaire dans une proportion à peu près constante; comme s'il en retirait, ou s'il y détruisait la portion spécialement respirable. Toute naturelle que fût cette induction, elle ne semble pas s'être présentée immédiatement à Priestley; car il ne chercha point alors à isoler le principe gazeux que l'air nitreux faisait disparaître, et qui aurait possédé une propriété si importante. Lui, et ensuite Scheele, le trouvèrent quelques années plus tard, par d'autres voies, sans y être conduits par les faits précédents. Ils réussirent à extraire de plusieurs préparations chimiques, un air éminemment apte à être respiré, entretenant la combustion avec une grande splendeur, et qui était totalement, ou presque totalement absorbé, ou réduit par l'air nitreux. C'est ce que l'on a nommé depuis *air vital*, ou *gaz oxygène*. Priestley l'appela *air déphlogistiqué*, Scheele *air du feu*, l'un et l'autre d'après des idées préconçues. C'étaient là de grands faits, mais presque tous complexes, qu'il fallait décomposer, séparer nettement les uns des autres, pour en tirer des conséquences justes. Car, par exemple, l'analogie que présentaient la respiration et la combustion de modifier toutes deux l'air commun, en sorte qu'il devînt impropre à ces deux actes,

cette analogie, disons-nous, n'était pas simple; puisque les deux opérations pouvaient bien donner naissance à des produits divers, intervenant dans le résultat final, et lui communiquant une qualité commune, avec d'autres différentes, comme cela arrivait effectivement. Ce fut Lavoisier qui débrouilla ce chaos. Son esprit logique comprit qu'il y avait là deux questions distinctes, dont la résolution devait être successive. Il commença par celle qui s'appliquait à des matières inertes. Il analysa donc premièrement l'air atmosphérique dans son état naturel, en lui faisant subir des épreuves purement physiques et chimiques, dont les produits constants, identiques, pussent être rigoureusement mesurés, définis, pesés. Quand il eut ainsi établi la constitution propre de cet air, composé de gaz oxygène, et d'un gaz non respirable qu'il appela l'*azote*, il se mit à étudier les modifications que la respiration des animaux produisait sur ce mélange déjà connu. Cette rectitude de jugement qui lui fit attaquer successivement ces deux questions, dans l'ordre de leur dépendance logique, Lavoisier l'a portée dans tous ses travaux; et ce fut une des causes les plus efficaces de leur succès. L'application en paraîtra sans doute ici très naturelle et très simple; mais apparemment cela n'était pas simple alors, puisque personne n'avait songé à procéder comme lui.

Un des plus grands services que Lavoisier ait rendus à la chimie, c'est de l'avoir ainsi amenée dans la voie d'investigation raisonnée, qui seule convient aux sciences positives. Un autre, non moins grand, c'est d'y avoir introduit comme élément de recherches, les conditions rigoureuses de mesures et de poids, qui sont le seul fondement assuré des études physiques; conditions jusque-là généralement négligées par ses prédécesseurs et par ses contemporains, même les plus habiles, si l'on excepte Cavendish, et peut-être Black. Comme exemple de cette importante innovation, je mettrai ici en parallèle deux

travaux d'une grande valeur, et presque de même époque : le mémoire de Lavoisier sur l'oxydation de l'étain, publié dans le recueil de l'Académie des sciences pour 1774; et celui de Priestley sur les différentes espèces d'air, inséré aux *Transactions philosophiques* de 1772, lequel lui mérita la médaille de Copley, la plus haute distinction que la Société Royale de Londres puisse décerner. Le mémoire de Priestley est une mine de faits nouveaux, heureusement aperçus, curieusement saisis. Entre autres choses remarquables, on y trouve la découverte du nouveau gaz qu'il nomma l'*air nitreux*, et que l'on sait aujourd'hui être le deuxième degré de combinaison de la portion non respirable de l'air atmosphérique appelée maintenant l'*azote* avec la portion spécialement respirable que nous appelons l'*air vital*, ou l'oxygène. Lorsque cet air nitreux, autrement le deutoxyde d'azote, est introduit dans un volume d'air atmosphérique, défini, enfermé sous une cloche ou dans un tube de verre, dont l'orifice plonge dans l'eau, il se combine immédiatement avec l'oxygène de cet air; et le produit est un liquide acide que l'eau absorbe; de sorte que le volume d'air atmosphérique sur lequel on opère, se trouve diminué de presque tout l'espace que son oxygène occupait. Cela offre donc un moyen de connaître, au moins fort approximativement, la proportion de ce principe qu'il renferme, et que renfermerait tout autre mélange analogue dans lequel l'oxygène serait plus ou moins abondant. Priestley vit tous ces phénomènes; il en reconnut les particularités les plus apparentes; il en saisit l'utile application, pour évaluer ce qu'il appelait la *pureté de l'air*; et il créa ainsi les premiers procédés de l'eudiométrie, sans savoir, au juste, ni comment, ni sur quoi ils agissaient. Il fit encore, dans ce même mémoire, une multitude d'essais et de tentatives expérimentales sur les propriétés de deux autres gaz qui étaient déjà connus depuis longtemps, sous la dénomination d'*air fixe* et d'*air inflammable*. Ce sont ceux que nous appelons l'*acide car-*

bonique et l'*hydrogène*. Maintenant, si vous cherchez à saisir la connexion d'idées, le fil abstrait qui a dirigé ces investigations, vous le trouvez continuellement disjoint, rompu, ou plutôt il n'y en a pas. L'auteur lui-même le dit, et se félicite de s'être toujours conduit d'après l'inspiration du moment; car c'est un trait commun à tous les expérimentateurs dépourvus de méthode, qu'ils se glorifient de n'en point avoir. Mais, par une conséquence inévitable de cette confiance dans l'imprévu, les faits sont presque toujours sans liaison, incomplètement observés, inexactement définis. Le vrai et le faux arrivent ensemble; et il est bien rare que la vérité se présente sans avoir pour compagne l'erreur. C'est une étude curieuse et instructive, que de lire aujourd'hui un pareil travail, avec les connaissances que nous possédons. Quand on y aperçoit si clairement, si évidemment, les faux pas continuels d'un esprit inventif, lancé sans guide à travers les faits, on comprend mieux la reconnaissance que l'on doit à ceux qui, en coordonnant la science, nous ont rendu facile de découvrir ces fautes, et de nous en préserver.

Lavoisier se montre tout autre, dès ses premiers travaux. Ses erreurs, car il s'est trompé comme tout le monde, ne furent, même à ces origines, que quelques interprétations trop promptes, plus tard quelques généralisations trop éloignées. Mais jamais l'incertain ne le séduit, ni ne l'attire. Il marche toujours à un but prévu et défini. Ainsi, dans le mémoire que je veux prendre pour exemple, il s'était proposé de résoudre une question simple et unique, mais capitale. La plupart des métaux, quand on les chauffe fortement à l'air libre, perdent leur éclat; et, si l'opération est suffisamment prolongée, ils finissent par se convertir en poudres d'apparence terreuse, dont les couleurs varient selon la nature du métal, comme aussi avec le degré de chaleur qu'on leur a fait subir. Ces produits, d'après leur aspect, étaient appelés anciennement des *chaux métalliques*. Nous les nommons aujourd'hui

des *oxydes*. Comme le besoin de les confectionner se présente sans cesse dans les arts, surtout pour l'étain et le plomb, le hasard avait fait remarquer qu'ils pèsent plus que la masse de métal employée à les former. Dans la théorie chimique qui fut longtemps le plus en vogue, ce résultat de l'ignition des métaux était attribué à un principe invisible, insaisissable, appelé le *phlogistique*, c'est-à-dire l'*inflammable* par excellence; parce qu'on le considérait comme étant la cause spécialement déterminante de toute inflammation. Les métaux contenaient ce phlogistique en abondance; il s'en séparait, et s'échappait dans l'acte de leur ignition, laissant pour résidu la masse terreuse qui constituait leur essence propre. Puisque cette masse pesait plus que le métal même, il fallait que le phlogistique combiné à un corps eût la propriété d'affaiblir son poids propre, et de lui communiquer une légèreté relative. Une pareille attribution est contraire aux lois de la statique universelle. Mais la chimie ne s'était pas encore astreinte aux conditions que ces lois imposent; elle n'employait pas la balance pour contrôler les conséquences de ses spéculations. Lavoisier comprit la nécessité de les soumettre à cette épreuve; et il s'appliqua d'abord à constater ainsi toutes les particularités statiques, dont la manifestation devait être attachée, comme caractère phénoménal, à l'acte de calcination des métaux. Dans ce dessein, il fit l'expérience suivante : Il moula quelques petits cylindres d'étain, dont il détermina le poids avec des balances excessivement précises, aussi précises que celles dont on se sert pour l'essai des monnaies d'or. Ces cylindres furent introduits dans une cornue de verre mince, à long col, lequel fut ensuite tiré et effilé à la flamme d'une lampe d'émailleur, jusqu'à n'avoir plus, à son orifice, que les dimensions d'un tube capillaire. Cet orifice restant ouvert, la cornue fut pesée aux mêmes balances, avec l'étain qu'elle contenait; et on nota le poids total que je nomme P_1. Comme on se proposait de la

chauffer fortement, on ne la ferma pas d'abord, de crainte que l'expansion de l'air intérieur ne la fît éclater; mais on fit sortir un peu de cet air à une douce chaleur, après quoi on fondit soudainement la pointe du col par un dard de feu, ce qui la ferma hermétiquement. Quand tout le système fut refroidi, Lavoisier le pesa, le pesa deux fois à trois jours de distance, pour constater avec la dernière exactitude son poids définitif, que j'appellerai P_2. Il le trouva tant soit peu moindre que le poids primitif P_1. Cela était tout simple, puisqu'il en avait fait sortir un peu d'air. La cornue ainsi scellée, et pesée, fut présentée de nouveau par sa panse à un feu de charbon, d'abord de loin, puis d'un peu plus près, jusqu'à ce qu'enfin l'étain renfermé entrât en fusion; et on le maintint dans cet état pendant plusieurs heures. On vit alors progressivement la surface du métal se ternir, se couvrir d'une pellicule noirâtre, que la moindre agitation désagrégeait, et divisait en une matière pulvérulente qui descendait au fond du métal liquide, se montrant ainsi spécifiquement plus lourde que lui. C'était donc évidemment de la chaux d'étain, qui s'était formée sans l'accession d'aucune substance matérielle, extérieure à la cornue. Au bout de trois heures, le progrès de la calcination s'arrêta, quoiqu'une forte portion de l'étain conservât encore son aspect et son éclat métallique, inaltérés. Jugeant donc que l'opération ne pouvait pas aller plus loin, on retira la cornue du feu; puis, après qu'elle fut complètement refroidie, Lavoisier la pesa minutieusement, à plusieurs reprises, *sans l'ouvrir*, avec tout ce qu'elle renfermait. Ce poids total se trouva encore identiquement égal à P_2, comme avant la calcination. Ainsi, le changement d'une portion de l'étain en chaux s'était effectué par une modification des substances pondérables renfermées dans la cornue, sans aucune mutation de leur poids total, conséquemment, sans dégagement ni accession d'aucun principe qui eût modifié la somme des efforts exercés par la pesanteur terrestre sur leur ensemble.

Il restait à prouver que ces efforts n'avaient pas été modifiés individuellement, de manière à devenir plus énergiques sur la chaux formée, et d'autant moins énergiques sur l'air restant. Tout invraisemblable que fût, en soi, cette égalité de répartition, Lavoisier en détruisit encore la possibilité hypothétique. Il cassa le bec de sa cornue; l'air extérieur y rentra avec un sifflement aigu, annonçant qu'il s'y était fait un vide partiel. Ce vide rempli, le système total fut pesé de nouveau avec les fragments du bec. Son poids se trouva plus fort que le poids primitif P_1, de la cornue ouverte, avec l'étain non calciné; et l'augmentation fut exactement égale à l'excès de poids que présenta l'étain plus sa chaux, recueillis ensuite ensemble. Ces épreuves anéantissaient le phlogistique, en le montrant inutile, et contraire aux faits statiques. Lavoisier, guidé par des expériences très ingénieuses de Bayen, reproduisit cette démonstration avec des caractères encore plus décisifs, en la répétant sur le mercure, qui a la propriété de se calciner lorsqu'il est chauffé dans l'air à une certaine température, et de se revivifier à l'état de métal, à une température plus haute; ce qui étant effectué de même, en vaisseaux clos, sans aucune modification du poids total du système, prouve invinciblement, par épreuve et par contre-épreuve, que ces phénomènes s'opèrent entre les seuls éléments matériels du métal et de l'air, sans aucune intervention étrangère d'autres principes pondérables. Toutefois, j'ai préféré prendre ici comme exemple l'expérience sur l'étain, pour plusieurs motifs. D'abord, par sa date, elle appartenait à l'époque pour laquelle je voulais établir mon parallèle; puis, dans les ouvrages de chimie où je l'ai vue mentionnée, les détails les plus décisifs de la démonstration qu'elle était destinée à établir m'ont paru être trop incomplètement signalés, parfois entièrement omis. Enfin, l'histoire de la physique nous offre un trait, qui est singulièrement propre à faire comprendre combien ces détails ont d'importance logique;

et comment l'omission d'un seul d'entre eux, lorsqu'il est essentiel pour la continuité du raisonnement, peut faire passer toutes vos déductions de la vérité à l'erreur. Boyle avait fait la même expérience que Lavoisier sur la calcination de l'étain, et aussi du plomb. Il avait opéré comme lui, en pesant le métal, et en l'introduisant dans une cornue de verre à bec allongé, scellé ensuite à la lampe. Il y avait également vu la calcination s'opérer, sans l'intervention de l'air extérieur. Il avait constaté que cet air était rentré avec sifflement dans la cornue, quand il eut cassé la pointe de son col; ce qui prouvait qu'un vide partiel s'y était opéré. Enfin, il avait de même recueilli la chaux qui s'était produite; et, en la réunissant au reste du métal non altéré, il avait trouvé que la somme des deux pesait plus que le métal primitif. Mais il ne s'était pas avisé de peser la cornue scellée, avec son contenu, *avant et après la calcination*, ce qui aurait prouvé la constance du poids total à ces deux époques; et, par suite, l'accomplissement de l'opération, indépendamment de tout accès ou départ de matières étrangères. C'était là le point capital qu'il fallait constater. N'y ayant pas songé, il ne vit que l'augmentation de poids; et, rien ne lui montrant d'où elle venait, il l'attribua à la pénétration de la matière du feu à travers le verre. Cela lui fournit le sujet d'une dissertation spéciale, qu'il intitula, en mauvais latin de physique : *De permeabilitate vitri a flamma*. Comment fit-il cette faute, qui, par l'omission d'un seul élément de mesure, donna des issues si diverses à deux tentatives, d'ailleurs identiques dans le choix des appareils et la série des procédés? cela est facile à comprendre. Boyle ne voulait que faire une expérience, sans but défini. Lavoisier voulait établir les données nécessaires pour résoudre une question scientifique, dont il s'était posé à l'avance, dans son esprit, toutes les conditions. Le premier était un manipulateur habile, le dernier un expérimentateur philosophe.

Je ne puis quitter cette époque mémorable, sans discuter ici une allégation qui a eu beaucoup de retentissement dans l'histoire de la science chimique, d'autant qu'elle me semble très loin de mériter l'importance qu'on lui a donnée. Il ne s'agit rien moins que d'enlever à Lavoisier, et aux chimistes modernes, la découverte fondamentale de la combinaison des métaux avec un des éléments de l'air atmosphérique, pour la reporter aux premières années du XVII[e] siècle, et en faire honneur à un médecin français de ce temps, appelé Jean Rey.

Lorsqu'un fait nouveau, considérable, fécond en conséquences, vient à se produire dans le monde scientifique, accompagné de preuves qui en établissent la certitude, et d'applications qui en découvrent la portée, c'est une habitude naturelle aux esprits contemporains que de rechercher curieusement s'il n'en existe pas d'anciennes traces. S'ils en trouvent, même d'indécises, ils les saisissent, et les ravivent pour ainsi dire, avec une facilité de conviction remplie d'indulgence. Ce travail critique est fort méritant, quand il est équitable. Car il est toujours à propos de rendre justice aux inventeurs méconnus. Mais, en se reportant au point de vue où ils s'étaient placés, en attribuant aux expressions dont ils se sont servis, le sens qu'on y attachait de leur temps; en donnant à leurs idées toute l'étendue qu'ils avaient pu eux-mêmes vouloir embrasser, il faut ensuite appliquer à leurs productions les règles immuables de la discussion scientifique. On devra donc y faire une juste différence entre les assertions et les preuves, entre les aperçus et les vérités établies; car il n'y aurait ni utilité, ni équité, ni philosophie, à admettre d'un auteur ancien, comme démontré, ce qu'on refuserait comme hypothétique d'un contemporain. Si l'on apprécie le livre de Jean Rey, d'après ces règles, le compte est facile; et, pour que chacun puisse en juger, je rapporte ici en note le texte du court passage, qu'il présente lui-

même comme résumant toute sa doctrine [1]. Ce passage, de peu de lignes, a fait sa célébrité. Si on le prend seul, en le détachant du reste du livre, et qu'on interprète l'unique phrase qui le compose, en attribuant aux mots la signification scientifique dont nos connaissances actuelles nous permettent de les revêtir, on pourra prétendre que l'auteur a envisagé effectivement le phénomène de la calcination des métaux sous son point de vue véritable, puisqu'il dit formellement que le *surcroît de poids* qu'ils acquièrent dans cette circonstance, *leur vient de l'air*. Mais, entrons dans les détails, et cherchons quelle idée il attache à cette adjonction de l'air; à quel mode d'action physique il l'attribue; comment il la conçoit; par quelles preuves il la démontre ou la constate. Car tout cet examen est indispensable, pour apprécier équitablement la part qui lui revient dans ce que nous savons aujourd'hui. D'abord, quant à des preuves absolues, il n'en donne pas, et sa manière de procéder l'en dispense. Ayant énoncé sa proposition, dans le passage que j'ai cité, il discute les diverses explications hypothétiques admises de son temps; et, n'en trouvant aucune bonne, il conclut que la sienne est la seule vraie. Or ce genre d'argumentation n'est nullement démonstratif, dans les sciences physiques. Car, sans sortir de l'exemple que lui-même nous fournit, une autre explication aurait pu surgir qui lui aurait paru plus acceptable, ne fût-ce que le *phlogistique* de Stahl. Alors il nous faut examiner les considérations *a priori* qui l'ont conduit à l'idée qu'il adopte, et voir comment il en conçoit l'application. Il les présente par ordre, préalablement à son résumé, dans des chapitres distincts, qu'il appelle *Essais*, comme Montaigne; et l'on y peut suivre tout le fil de ses raisonnements. Dans le premier,

1. Voir plus loin (p. 523) ce passage qui, remarque Biot, a fait, à lui seul, la fortune du livre. Il est entièrement marqué de guillemets dans l'original, comme résumant toute la doctrine de l'auteur.

il pose en principe que la pesanteur agit sur toutes les substances matérielles, avec des énergies inégales, ce qui leur donne des poids relatifs divers : celui du feu est le moindre de tous. Au chapitre IV, il veut prouver que l'air et le feu sont pesants et *se meuvent naturellement en bas*, ce qu'il conclut, non d'expériences, mais de considérations métaphysiques puisées dans son imagination. Aux chapitres XI, XII, XIII et XIV, il expose les conséquences qu'il tire de ces prémisses. Selon lui, le feu, par sa chaleur, *peut épaissir les corps homogènes*, en forçant leurs parties les plus subtiles à s'élever, et à se séparer des plus grossières, qui retombent en bas. Il voit bien qu'il y a contradiction à supposer l'homogénéité accompagnée de dissemblance. On le lui a objecté. Mais il déclare ne point s'en rapporter aux paroles des philosophes; et l'expérience lui montre que cette association peut exister, *par accident*. En cette façon, dit-il, le feu peut épaissir l'eau et l'air, convertissant certaines parties de l'une en vapeurs plus légères, et certaines parties de l'autre en un air plus rare. Quant à l'épaississement de ce qui reste, on comprend qu'il n'en donne pas de preuves physiques, puisque le fait est imaginaire. Mais il le conclut de son argumentation, et cela lui suffit. Alors, l'application de ces principes au phénomène de la calcination des métaux est fort simple. La chaleur du fourneau dans lequel le métal est placé soulève les parties les plus subtiles de l'air ambiant; les autres, séparées de celles-là, s'épaississent en un air plus lourd, lequel, dit-il, s'insinue entre les parties de la chaux métallique, comme l'eau entre les grains d'une masse du sable; et il y adhère de même, *parce qu'il est devenu aucunement adhésif*. Ce *parce que* est péremptoire. Voilà toute la doctrine de Jean Rey. Je ne la renforce ni ne l'affaiblis; je ne l'améliore ni ne la gâte; je me borne à la résumer fidèlement. Peut-on prétendre, avec quelque raison, qu'il y a là, je ne dis pas une vue distincte, mais seulement un aperçu juste du

phénomène? Y trouve-t-on le moindre indice de ce qui constitue le fait réel et en décide l'accomplissement : un certain degré d'élévation de la température, mettant le métal, et l'un des éléments de l'air atmosphérique, dans un état de relation nouveau, tel, qu'au lieu de continuer à exister séparés, avec leur constitution propre, l'élément gazeux devenu solide se réunit aux particules du métal, et s'y attache si fortement qu'on ne peut plus l'en séparer que par une violence plus expansive du feu, ou par l'intermédiaire de quelque corps, qui exerce sur lui une faculté d'appropriation encore plus puissante? Voilà la doctrine moderne, qui est seulement l'expression pure des faits observés. Quel rapport a-t-elle avec celle de Jean Rey? Une vérité, qui contenait le germe de beaucoup d'autres, s'était présentée à son esprit. Il n'a pas su la pénétrer, et il l'a rattachée à des erreurs. Elle lui découvrait un seul trait, mais principal, d'un phénomène complexe. Il n'a pas soupçonné cette complication; et il s'est arrêté à l'entrée des découvertes, dont ce premier trait de lumière lui ouvrait la route. De cette mine si riche, il ne tire qu'une vaine spéculation, pareille à celles des philosophes grecs. Aux hypothèses que l'on avait imaginées pour rendre raison du même fait, il en ajoute une qui a un point de vrai; et il l'établit sur des idées complètement fausses, sans spécifier ses conséquences, ni les vérifier par aucune épreuve expérimentale. Si l'on admet que cela suffise pour lui attribuer la notion claire et distincte du phénomène, telle que je viens de l'exposer, on pourra, aussi bien, trouver le germe de toutes les découvertes scientifiques des modernes, et ces découvertes elles-mêmes, dans le traité de Plutarque : Περὶ τῶν ἀρεσκόντων τοῖς φιλοσόφοις, *Sur les opinions des philosophes*. Mais ces opinions, je dirai plus volontiers ces fantaisies philosophiques, ne font rien découvrir. Le vrai, quand on l'y rencontre, vous apparaît tout aussi incertain et chanceux que le faux. Ce sont des

billets de loterie dont on ne sait la valeur qu'après le tirage.

L'ouvrage de Jean Rey date de 1630. Lorsqu'il fut réimprimé en 1777, au fort du triomphe de la nouvelle chimie, l'obscurité dans laquelle il était resté jusque-là se changea en une grande lumière. Sa réapparition eut l'éclat d'un météore. Le vent de l'opinion souffla si puissamment en sa faveur, que ceux-là même qui avaient le plus de droit aux palmes que l'on décernait à l'auteur de ce livre, se virent contraints de lui en concéder la plus belle part, celle de premier inventeur. Ainsi Bayen qui, avant Lavoisier, avait fait l'importante expérience de l'oxydation et de la désoxydation du mercure, à des températures inégales, sans autre agent que la chaleur, Bayen signa une déclaration, qui est imprimée en tête de l'édition nouvelle, par laquelle il reconnaît formellement ce titre de priorité. Il est vrai que l'hypothèque qu'il donnait portait sur le domaine de Lavoisier, non sur le siên. Enfin, Lavoisier lui-même daigna exprimer, dans ses mémoires, le regret de n'avoir pas connu le livre de Jean Rey assez à temps pour le mentionner, en publiant ses propres découvertes. Le fait d'antériorité se trouva ainsi établi, sans contradicteur. Ouvrez tous les traités de chimie qui ont paru depuis cette époque, ceux, du moins, qui contiennent des indications historiques : vous y trouverez invariablement Jean Rey, présenté comme le précurseur de la nouvelle chimie. Voilà d'imposantes autorités, et fort nombreuses. On me trouvera sans doute bien hardi de contester une opinion devenue si générale. Mais la critique philosophique a des droits imprescriptibles; rien ne peut lui enlever le privilège de sa devise : *nullius in verba*. Usant donc de la liberté qu'elle me permet, je dirai aux chimistes et aux physiciens de mon temps : Relisez l'ouvrage de Jean Rey, consciencieusement, attentivement, d'un bout à l'autre, comme je l'ai lu moi-même. Examinez ses raisonnements

et pesez ses conclusions. Puis, décidez s'il mérite la place qu'on lui a donnée depuis 1777, ou celle que je lui assigne aujourd'hui. (Biot, *Mélanges scient. et litt.*, t. II, p. 179.)

Nous ferons maintenant de nombreux emprunts aux œuvres de Lavoisier. Toutes les citations sont faites d'après la grande édition de l'Académie des sciences.

CHAPITRE II

LE « TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE CHIMIE »

Les corps simples.

On ne manquera pas d'être surpris de ne point trouver dans un traité élémentaire de chimie un chapitre sur les parties constituantes et élémentaires des corps; mais je ferai remarquer ici que cette tendance que nous avons à vouloir que tous les corps de la nature ne soient composés que de trois ou quatre éléments tient à un préjugé qui nous vient originairement des philosophes grecs. L'admission de quatre éléments, qui, par la variété de leurs proportions, composent tous les corps que nous connaissons, est une pure hypothèse, imaginée longtemps avant qu'on eût les premières notions de la physique expérimentale et de la chimie. On n'avait point encore de faits, et l'on formait des systèmes; et aujourd'hui que nous avons rassemblé des faits, il semble que nous nous efforcions de les repousser, quand ils ne cadrent pas avec nos préjugés; tant il est vrai que le poids de l'autorité de ces pères de la philosophie humaine se fait encore sentir, et qu'elle pèsera sans doute encore sur les générations à venir.

Une chose très remarquable, c'est que, tout en enseignant la doctrine des quatre éléments, il n'est aucun chimiste qui, par la force des faits, n'ait été conduit à en

admettre un plus grand nombre. Les premiers chimistes qui ont écrit depuis le renouvellement des lettres regardaient le soufre et le sel comme des substances élémentaires qui entraient dans la combinaison d'un grand nombre de corps : ils reconnaissaient donc l'existence de six éléments au lieu de quatre. Becher admettait trois terres, et c'était de leur combinaison et de la différence des proportions que résultait, suivant lui, la différence qui existe entre les substances métalliques. Stahl a modifié ce système ; tous les chimistes qui lui ont succédé se sont permis d'y faire des changements, même d'en imaginer d'autres, mais tous se sont laissé entraîner à l'esprit de leur siècle, qui se contentait d'assertions sans preuves, ou du moins qui regardait souvent comme telles de très légères probabilités.

Tout ce qu'on peut dire sur le nombre et sur la nature des éléments se borne, suivant moi, à des discussions purement métaphysiques : ce sont des problèmes indéterminés qu'on se propose de résoudre, qui sont susceptibles d'une infinité de solutions, mais dont il est très probable qu'aucune en particulier n'est d'accord avec la nature. Je me contenterai donc de dire que, si par le nom d'éléments nous entendons désigner les molécules simples et indivisibles qui composent les corps, il est probable que nous ne les connaissons pas : que, si, au contraire, nous attachons au nom d'éléments ou de principes des corps l'idée du dernier terme auquel parvient l'analyse, toutes les substances que nous n'avons encore pu décomposer par aucun moyen sont pour nous des éléments; non pas que nous puissions assurer que ces corps, que nous regardons comme simples, ne soient pas eux-mêmes composés de deux ou même d'un plus grand nombre de principes; mais, puisque ces principes ne se séparent jamais, ou plutôt puisque nous n'avons aucun moyen de les séparer, ils agissent à notre égard à la manière des corps simples, et nous ne devons les sup-

poser composés qu'au moment où l'expérience et l'observation nous en auront fourni la preuve. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. I, p. 6 : *Traité élémentaire de chimie.*)

Plus loin et en dressant la liste des substances connues de son temps, Lavoisier ajoute :

Il est probable que nous ne connaissons qu'une partie des substances métalliques qui existent dans la nature; toutes celles, par exemple, qui ont plus d'affinité avec l'oxygène qu'avec le carbone ne sont pas susceptibles d'être réduites ou ramenées à l'état métallique, et elles ne doivent se présenter à nos yeux que sous la forme d'oxydes, qui se confondent pour nous avec les terres. Il est très probable que la baryte, que nous venons de ranger dans la classe des terres, est dans ce cas; elle présente, dans le détail des expériences, des caractères qui la rapprochent beaucoup des substances métalliques. Il serait possible, à la rigueur, que toutes les substances auxquelles nous donnons le nom de terres ne fussent que des oxydes métalliques irréductibles par les moyens que nous employons. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. I, p. 122.)

L'oxygène est donc le moyen d'union entre les métaux et les acides; et cette circonstance, qui a lieu pour tous les métaux comme pour tous les acides, pourrait porter à croire que toutes les substances qui ont une grande affinité avec les acides contiennent de l'oxygène. Il est donc assez probable que les quatre terres salifiables [1] que nous avons désignées ci-dessus contiennent de l'oxygène, et que c'est par ce *latus* qu'elles s'unissent aux acides. Cette considération semblerait appuyer ce que j'ai précédemment avancé à l'article des terres, que ces substances pourraient bien n'être autre chose que des métaux oxydés, avec lesquels l'oxygène a plus d'affinité

1. La chaux, la magnésie, la baryte et l'alumine.

qu'il n'en a avec le charbon, et qui, par cette circonstance, sont irréductibles. Au reste ce n'est ici qu'une conjecture que des expériences ultérieures pourront seules ou confirmer ou détruire. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. I, p. 126.)

Le radical boracique est entièrement inconnu : l'oxygène y tient tellement, qu'il n'a pas encore été possible de l'en séparer par aucun moyen. Ce n'est même que par analogie qu'on peut conclure que l'oxygène fait partie de sa combinaison, comme de celles de tous les acides. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. I, p. 192.)

« Nous ne pouvons donc pas assurer que ce que nous regardons comme simple aujourd'hui, le soit en effet : tout ce que nous pouvons dire, c'est que telle substance est le terme actuel auquel arrive l'analyse chimique, et qu'elle ne peut plus se subdiviser au delà dans l'état actuel de nos connaissances.

Il est à présumer que les terres (baryte, chaux, magnésie, alumine) cesseront bientôt d'être comptées au nombre des substances simples. Elles sont les seules de toute cette classe qui n'aient point de tendance à s'unir à l'oxygène, et je suis bien porté à croire que cette indifférence pour l'oxygène, s'il m'est permis de me servir de cette expression, tient à ce qu'elles en sont déjà saturées. Les terres, dans cette manière de voir, seraient des substances simples, peut-être des oxydes métalliques oxygénés jusqu'à un certain point. Ce n'est, au surplus, qu'une simple conjecture que je présente ici. J'espère que le lecteur voudra bien ne pas confondre ce que je donne pour des vérités de fait et d'expérience avec ce qui n'est encore qu'hypothétique.

« Je n'ai point fait entrer dans ce tableau (des corps simples) les alcalis fixes, tels que la potasse et la soude, parce que ces substances sont évidemment composées, quoiqu'on ignore cependant encore la nature des principes qui entrent dans leurs combinaisons. » (LAVOISIER, *Œuvres*, t. I, p. 137.)

Lorsque, quelques années plus tard, les métaux de ces bases seront isolés, ceux qui les auront obtenus n'auront fait que confirmer les vues de Lavoisier. Mais, si nous ne pouvons nous empêcher d'admirer le génie de Lavoisier, indiquant nettement, plus de vingt ans à l'avance, l'existence du potassium, du sodium, du baryum, du calcium, du magnésium, de l'aluminium, du bore, remarquons en outre, avec non moins d'admiration, avec quel soin le grand chimiste marque les limites de ce qui est acquis et de ce qui est ignoré, des faits et de l'hypothèse.

Vues générales sur la formation et la constitution de l'atmosphère de la terre.

Les considérations que je viens de présenter sur la formation des fluides élastiques aériformes, ou gaz, jettent un grand jour sur la manière dont se sont formées, dans l'origine des choses, les atmosphères des planètes, et notamment celle de la terre. On conçoit que cette dernière doit être le résultat et le mélange : 1° de toutes les substances susceptibles de se vaporiser ou plutôt de rester dans l'état aériforme, au degré de température dans lequel nous vivons, et à une pression égale au poids d'une colonne de mercure de 27 pouces de hauteur; 2° de toutes les substances fluides ou concrètes susceptibles de se dissoudre dans cet assemblage de différents gaz.

Pour mieux fixer nos idées relativement à cette matière sur laquelle on n'a point encore assez réfléchi, considérons un moment ce qui arriverait aux différentes substances qui composent le globe, si la température en était brusquement changée. Supposons, par exemple, que la terre se trouvât transportée tout à coup dans une région beaucoup plus chaude du système solaire, dans la région de Mercure, par exemple, où la chaleur habituelle est probablement fort supérieure à celle de l'eau bouillante : bientôt l'eau, tous les fluides susceptibles de se vaporiser

à des degrés voisins de l'eau bouillante, et le mercure lui-même, entreraient en expansion; ils se transformeraient en fluides aériformes ou gaz, qui deviendraient parties de l'atmosphère. Ces nouvelles espèces d'air se mêleraient avec celles déjà existantes, et il en résulterait des décompositions réciproques, des combinaisons nouvelles, jusqu'à ce que, les différentes affinités se trouvant satisfaites, les principes qui composeraient ces différents airs ou gaz arrivassent à un état de repos. Mais une considération qui ne doit pas échapper, c'est que cette vaporisation même aurait des bornes; en effet, à mesure que la quantité des fluides augmenterait, la pesanteur de l'atmosphère s'accroîtrait en proportion; or, puisqu'une pression quelconque est un obstacle à la vaporisation, puisque les fluides les plus évaporables peuvent résister, sans se vaporiser, à une chaleur très forte, quand on y oppose une pression proportionnellement plus forte encore; enfin, puisque l'eau elle-même et tous les liquides peuvent éprouver, dans la machine de Papin, une chaleur capable de les faire rougir, on conçoit que la nouvelle atmosphère arriverait à un degré de pesanteur tel, que l'eau qui n'aurait pas été vaporisée jusqu'alors cesserait de bouillir et resterait dans l'état de liquidité; en sorte que, même dans cette supposition comme dans toute autre de même genre, la pesanteur de l'atmosphère serait limitée et ne pourrait pas excéder un certain terme. On pourrait porter ces réflexions beaucoup plus loin, et examiner ce qui arriverait aux pierres, aux sels et à la plus grande partie des substances fusibles qui composent le globe; on conçoit qu'elles se ramolliraient, qu'elles entreraient en fusion et formeraient des fluides; mais ces dernières considérations sortent de mon objet, et je me hâte d'y rentrer.

Par un effet contraire, si la terre se trouvait tout à coup placée dans des régions très froides, l'eau qui forme aujourd'hui nos fleuves et nos mers, et probablement le

plus grand nombre des fluides que nous connaissons, se transformerait en montagnes solides, en rochers très durs, d'abord diaphanes, homogènes et blancs comme le cristal de roche, mais qui, avec le temps, se mêlant avec des substances de différente nature, deviendraient des pierres opaques diversement colorées.

L'air, dans cette supposition, ou au moins une partie des substances aériformes qui le composent, cesseraient sans doute d'exister dans l'état de vapeurs élastiques, faute d'un degré de chaleur suffisant; elles reviendraient donc à l'état de liquidité, et il en résulterait de nouveaux liquides dont nous n'avons aucune idée.

Ces deux suppositions extrêmes font voir clairement : 1° que *solidité*, *liquidité*, *élasticité*, sont trois états différents de la même matière, trois modifications particulières, par lesquelles presque toutes les substances peuvent successivement passer, et qui dépendent uniquement du degré de chaleur auquel elles sont exposées, c'est-à-dire de la quantité de calorique dont elles sont pénétrées; 2° qu'il est très probable que l'air est un fluide naturellement en vapeurs, ou, pour mieux dire, que notre atmosphère est un composé de tous les fluides susceptibles d'exister dans un état de vapeurs et d'élasticité constante, au degré habituel de chaleur et de pression que nous éprouvons. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. I, p. 32.)

Analyse de l'air de l'atmosphère; sa résolution en deux fluides élastiques, l'un respirable, l'autre non respirable.

Telle est donc *a priori* la constitution de notre atmosphère; elle doit être formée de la réunion de toutes les substances susceptibles de demeurer dans l'état aériforme au degré habituel de température et de pression que nous éprouvons. Ces fluides forment une masse de nature

à peu près homogène, depuis la surface de la terre jusqu'à la plus grande hauteur à laquelle on soit encore parvenu, et dont la densité décroît en raison inverse des poids dont elle est chargée; mais, comme je l'ai dit, il est possible que cette première couche soit recouverte d'une ou de plusieurs autres, de fluides très différents.

Il nous reste maintenant à déterminer quel est le nombre et quelle est la nature des fluides élastiques qui composent cette couche inférieure que nous habitons, et c'est sur quoi l'expérience va nous éclairer. La chimie moderne a fait à cet égard un grand pas, et les détails dans lesquels je vais entrer feront connaître que l'air de l'atmosphère est peut-être, de toutes les substances de cet ordre, celle dont l'analyse est la plus exactement et la plus rigoureusement faite.

La chimie présente, en général, deux moyens pour déterminer la nature des parties constituantes d'un corps, la composition et la décomposition. Lors, par exemple, que l'on a combiné ensemble de l'eau et de l'esprit-de-vin ou alcool, et que, par le résultat de ce mélange, on a formé l'espèce de liqueur qui porte le nom d'eau-de-vie dans le commerce, on a droit d'en conclure que l'eau-de-vie est un composé d'alcool et d'eau; mais on peut arriver à la même conclusion par voie de décomposition, et en général on ne doit être pleinement satisfait, en chimie, qu'autant qu'on a pu réunir ces deux genres de preuves.

On a cet avantage dans l'analyse de l'air de l'atmosphère : on peut le décomposer et le recomposer, et je me bornerai à rapporter ici les expériences les plus concluantes qui aient été faites à cet égard. Il n'en est presque aucunes qui ne me soient devenues propres, soit parce que je les ai faites le premier, soit parce que je les ai répétées sous un point de vue nouveau, sous celui d'analyser l'air de l'atmosphère.

J'ai pris un matras *A* de 36 pouces cubiques envi-

ron [1] de capacité, dont le col *BCDE* était très long, et avait 6 à 7 lignes de grosseur intérieurement. Je l'ai courbé, comme on le voit représenté (fig. 19), de manière qu'il pût être placé dans un fourneau *MMNN*, tandis que l'extrémité *E* de son col irait s'engager sous la cloche *FG*, placée dans un bain de mercure *RRSS*. J'ai introduit dans ce matras 4 onces de mercure très pur, puis, en suçant avec un siphon que j'ai introduit sous la

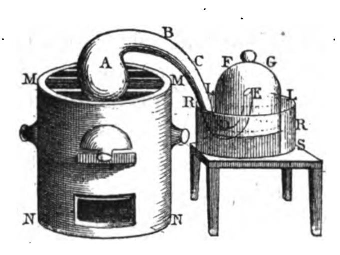


Fig. 19. — Composition de l'air.

cloche *FG*, j'ai élevé le mercure jusqu'en *LL*; j'ai marqué soigneusement cette hauteur avec une bande de papier collé, et j'ai observé exactement le baromètre et le thermomètre.

Les choses ainsi préparées, j'ai allumé le feu dans le fourneau *MMNN*, et je l'ai entretenu presque continuellement pendant douze jours, de manière que le mercure fût échauffé jusqu'au degré nécessaire pour le faire bouillir.

Il ne s'est rien passé de remarquable pendant tout le premier jour : le mercure, quoique non brillant, était dans un état d'évaporation continuelle, il tapissait l'intérieur des vaisseaux de gouttelettes, d'abord très fines, qui allaient ensuite en augmentant, et qui, lorsqu'elles avaient acquis un certain volume, retombaient d'elles-

1. Voir *Mémoires*, II, 174. — L'expérience est du commencement de 1777. — J. G.

mêmes au fond du vase et se réunissaient au reste du mercure. Le second jour, j'ai commencé à voir nager sur la surface du mercure de petites parcelles rouges, qui, pendant quatre ou cinq jours, ont augmenté en nombre et en volume, après quoi elles ont cessé de grossir et sont restées absolument dans le même état. Au bout de douze jours, voyant que la calcination du mercure ne faisait plus aucun progrès, j'ai éteint le feu et j'ai laissé refroidir les vaisseaux. Le volume de l'air contenu, tant dans le matras que dans son col et sous la partie vide de la cloche, réduit à une pression de 28 pouces et à 10 degrés du thermomètre, était, avant l'opération, de 50 pouces cubiques environ. Lorsque l'opération a été finie, ce même volume, à pression et à température égales, ne s'est plus trouvé que de 42 à 43 pouces; il y avait eu par conséquent une diminution de volume d'un sixième environ. D'un autre côté, ayant rassemblé soigneusement les parcelles rouges qui s'étaient formées, et les ayant séparées, autant qu'il était possible, du mercure coulant dont elles étaient baignées, leur poids s'est trouvé de 45 grains.

J'ai été obligé de répéter plusieurs fois cette calcination du mercure en vaisseaux clos, parce qu'il est difficile, dans une seule et même expérience, de conserver l'air dans lequel on a opéré, et les molécules rouges ou chaux de mercure qui s'est formée. Il m'arrivera souvent de confondre ainsi, dans un même récit, le résultat de deux ou trois expériences de même genre.

L'air qui restait après cette opération, et qui avait été réduit aux cinq sixièmes de son volume par la calcination du mercure, n'était plus propre à la respiration ni à la combustion; car les animaux qu'on y introduisait y périssaient en peu d'instants, et les lumières s'y éteignaient sur-le-champ, comme si on les eût plongées dans de l'eau.

D'un autre côté, j'ai pris les 45 grains de matière rouge

qui s'était formée pendant l'opération, je les ai introduits dans une très petite cornue de verre, à laquelle était adapté un appareil propre à recevoir les produits liquides et aériformes qui pourraient se séparer; ayant allumé du feu dans le fourneau, j'ai observé qu'à mesure que la matière rouge était échauffée, sa couleur augmentait d'intensité. Lorsque ensuite la cornue a approché de l'incandescence, la matière rouge a commencé à perdre peu à peu de son volume, et en quelques minutes elle a entièrement disparu; en même temps il s'est condensé dans le petit récipient 41 grains $\frac{1}{2}$ de mercure coulant, et il a passé sous la cloche 7 à 8 pouces cubiques d'un fluide élastique beaucoup plus propre que l'air de l'atmosphère à entretenir la combustion et la respiration des animaux.

Ayant fait passer une portion de cet air dans un tube de verre d'un pouce de diamètre, et y ayant plongé une bougie, elle y répandait un éclat éblouissant; le charbon, au lieu de s'y consumer paisiblement comme dans l'air ordinaire, y brûlait avec flamme et une sorte de décrépitation, à la manière du phosphore, et avec une vivacité de lumière que les yeux avaient peine à supporter. Cet air que nous avons découvert presque en même temps, M. Priestley, M. Scheele et moi, a été nommé, par le premier, air déphlogistiqué; par le second, air empyréal. Je lui avais d'abord donné le nom d'*air éminemment respirable*; depuis on y a substitué celui d'*air vital.* Nous verrons bientôt ce qu'on doit penser de ces dénominations.

En réfléchissant sur les circonstances de cette expérience, on voit que le mercure, en se calcinant, absorbe la partie salubre et respirable de l'air, ou, pour parler d'une manière plus rigoureuse, la base de cette partie respirable; que la portion d'air qui reste est une espèce de mofette, incapable d'entretenir la combustion et la respiration; l'air de l'atmosphère est donc composé de

deux fluides élastiques de nature différente et pour ainsi dire opposée.

Une preuve de cette importante vérité, c'est qu'en recombinant les deux fluides élastiques qu'on a ainsi obtenus séparément, c'est-à-dire les 42 pouces cubiques de mofette ou air non respirable, et les 8 pouces cubiques d'air respirable, on reforme de l'air, en tout semblable à celui de l'atmosphère, et qui est propre, à peu près au même degré, à la combustion, à la calcination des métaux et à la respiration des animaux.

Quoique cette expérience fournisse un moyen infiniment simple d'obtenir séparément les deux principaux fluides élastiques qui entrent dans la composition de notre atmosphère, elle ne nous donne pas des idées exactes sur la proportion de ces deux fluides. L'affinité du mercure pour la partie respirable de l'air, ou plutôt pour sa base, n'est pas assez grande pour qu'elle puisse vaincre entièrement les obstacles qui s'opposent à cette combinaison. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. I, p. 35.)

De la décomposition des oxydes végétaux par la fermentation vineuse.

Tout le monde sait comment se font le vin, le cidre, l'hydromel, et en général toutes les boissons fermentées spiritueuses. On exprime le jus des raisins et des pommes, on étend d'eau ce dernier; on met la liqueur dans de grandes cuves, et on la tient dans un lieu dont la température soit au moins de 10 degrés du thermomètre de Réaumur. Bientôt il s'y excite un mouvement rapide de fermentation, des bulles d'air nombreuses viennent crever à la surface, et, quand la fermentation est à son plus haut période, la quantité de ces bulles est si grande, la quantité de gaz qui se dégage est si considérable, qu'on croirait que la liqueur est sur un brasier ardent qui y excite

une violente ébullition. Le gaz qui se dégage est de l'acide carbonique, et, quand on le recueille avec soin, il est parfaitement pur et exempt du mélange de toute autre espèce d'air ou de gaz.

Le suc des raisins, de doux et de sucré qu'il était, se change, dans cette opération, en une liqueur vineuse, qui, lorsque la fermentation est complète, ne contient plus de sucre, et dont on peut retirer par distillation une liqueur inflammable, qui est connue dans le commerce et dans les arts sous le nom d'*esprit-de-vin*. On sent que, cette liqueur étant un résultat de la fermentation d'une matière sucrée quelconque suffisamment étendue d'eau, il aurait été contre les principes de notre nomenclature de la nommer plutôt esprit de vin qu'esprit de cidre, ou esprit de sucre fermenté. Nous avons donc été forcés d'adopter un nom plus général, et celui d'*alcool*, qui nous vient des Arabes, nous a paru propre à remplir notre objet.

Cette opération est une des plus frappantes et des plus extraordinaires de toutes celles que la chimie nous présente, et nous avons à examiner d'où vient le gaz acide carbonique qui se dégage, d'où vient l'esprit inflammable qui se forme, et comment un corps doux, un oxyde végétal, peut se transformer ainsi en deux substances si différentes, dont l'une est combustible, l'autre éminemment incombustible. On voit que, pour arriver à la solution de ces deux questions, il fallait d'abord bien connaître l'analyse[1] et la nature du corps susceptible de

1. Lavoisier est le véritable inventeur de l'analyse organique élémentaire, M. Dumas l'a fait remarquer (Lavoisier, *Œuvres*, t. III, p. 773). Il procédait en brûlant un poids connu de matière organique par une quantité connue également d'oxygène et en mesurant soigneusement l'eau et l'acide carbonique formés. Dans un mémoire publié en 1784, *Sur la combinaison du principe oxygine avec l'esprit-de-vin, l'huile et différents corps combustibles,* il donne une analyse de ces corps. Il revint plus tard sur cette question, et nous le voyons en 1788 analyser le sucre en chauffant celui-ci avec de l'oxyde rouge de mercure et en recueillant les produits de la com-

fermenter, et les produits de la fermentation; car rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications.

C'est sur ce principe qu'est fondé tout l'art de faire des expériences en chimie : on est obligé de supposer dans toutes une véritable égalité ou équation entre les principes du corps qu'on examine et ceux qu'on en retire par l'analyse. Ainsi, puisque du moût de raisin donne du gaz acide carbonique et de l'alcool, je puis dire que le *moût de raisin = acide carbonique + alcool*. Il résulte de là qu'on peut parvenir de deux manières à éclaircir ce qui se passe dans la fermentation vineuse : la première, en déterminant bien la nature et les principes du corps fermentescible; la seconde, en observant bien les produits qui en résultent par la fermentation, et il est évident que les connaissances que l'on peut acquérir sur l'un conduisent à des conséquences certaines sur la nature des autres, et réciproquement.

Il était important, d'après cela, que je m'attachasse à bien connaître les principes constituants du corps fermentescible. On conçoit que, pour y parvenir, je n'ai pas été chercher les sucs de fruits très composés, et dont une analyse rigoureuse serait peut-être impossible. J'ai choisi, de tous les corps susceptibles de fermenter, le plus simple, le sucre, dont l'analyse est facile, et dont j'ai déjà précédemment fait connaître la nature. On se rap-

bustion; au lieu de mesurer l'acide carbonique en volume comme dans le mémoire précédent, il le pèse en déterminant l'augmentation du poids de la potasse qui a servi à l'absorber. Plus tard, il essaie le bioxyde de manganèse et le chlorate de potasse pour le même objet; il a donc imaginé, non seulement le principe, mais la forme même de l'analyse organique. — J. G.

pelle que cette substance est un véritable oxyde végétal, un oxyde à deux bases; qu'il est composé d'hydrogène et de carbone porté à l'état d'oxyde par une certaine proportion d'oxygène, et que ces trois principes sont dans un état d'équilibre qu'une force très légère suffit pour rompre. Une longue suite d'expériences faites par différentes voies, et que j'ai répétées bien des fois, m'a appris que les proportions des principes qui entrent dans la composition du sucre sont à peu près les suivantes :

Hydrogène	8 parties.
Oxygène	64
Carbone	28
Total	100

Pour faire fermenter le sucre, il faut d'abord l'étendre d'environ quatre parties d'eau. Mais de l'eau et du sucre mêlés ensemble, dans quelque proportion que ce soit, ne fermenteraient jamais seuls, et l'équilibre subsisterait toujours entre les principes de cette combinaison, si on ne les rompait par un moyen quelconque. Un peu de levure de bière suffit pour produire cet effet et pour donner le premier mouvement à la fermentation; elle se continue ensuite d'elle-même jusqu'à la fin....

Les effets de la fermentation vineuse se réduisent donc à séparer en deux portions le sucre, qui est un oxyde, à oxygéner l'une aux dépens de l'autre pour en former de l'acide carbonique, à désoxygéner l'autre en faveur de la première pour en former une substance combustible, qui est l'alcool; en sorte que, s'il était possible de recombiner ces deux substances, l'alcool et l'acide carbonique, on reformerait du sucre. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. I, p. 100.)

CHAPITRE III

LES GRANDS MÉMOIRES

Augmentation du poids des métaux.

Analyse du mémoire sur l'augmentation du poids des métaux par la calcination[1].

L'éditeur, M. Dumas, croit nécessaire de placer ici l'analyse de l'important mémoire de Lavoisier qui porte ce titre, telle qu'on la trouve dans l'*Histoire de l'Académie*.

On y verra comment, dès cette époque, la partie historique de la question était comprise, et aussi quelle circonspection on portait alors à accepter des conclusions contraires à la théorie de Stahl.

On sait depuis longtemps que les métaux, en se calcinant, augmentent réellement de poids; cette augmentation est même si considérable dans quelques métaux, dans le plomb, par exemple, que les ouvriers qui préparent les différentes chaux de plomb ont pu s'en apercevoir aisément, et que cette observation a dû être, pendant quelque temps, pour eux, un secret utile. Jean Rey, médecin, qui vivait à la fin du XVIe siècle, avait expliqué ce phénomène en imaginant que l'air, en s'unissant aux chaux métalliques, était la cause de cette augmentation de poids; il en

1. *Histoire de l'Académie des sciences*, année 1774, p. 20.

a été de cette idée comme de beaucoup d'autres aussi ingénieuses et aussi vraies qu'on trouve dans les écrivains des siècles d'ignorance (car le génie est de tous les siècles), mais qui, par le défaut de preuves, par le voisinage des erreurs auxquelles elles sont mêlées, par leur opposition avec les principes de la philosophie alors en usage, ont été oubliées, et qu'on ne reconnaît dans leurs premiers auteurs, que lorsque, s'étant présentées de nouveau à d'autres savants et ayant été plus développées, il est devenu facile de les apercevoir.

Boyle prouva par de nouvelles expériences, la vérité de l'augmentation réelle du poids des métaux calcinés ; mais les physiciens parurent longtemps négliger un phénomène si extraordinaire, ou seulement s'en ressouvenir de loin à loin ; cependant quelques-uns, et entre autres le P. Béraud, correspondant de l'Académie, tentèrent de l'expliquer par l'addition de l'air; mais cette idée, qui n'était encore qu'une vue ingénieuse, avait besoin d'être prouvée par des expériences directes, et c'est l'objet du mémoire de M. Lavoisier.

Des expériences rapportées dans ses Opuscules physiques et chimiques, et dont il résultait que les métaux, calcinés sous une cloche avec une lentille, avaient augmenté de poids, tandis que l'air contenu sous cette cloche avait diminué d'une quantité à peu près égale en poids, auraient pu paraître une preuve suffisante de cette théorie; mais les physiciens sont devenus difficiles en preuves, à force d'avoir été obligés de reconnaître les erreurs où ils avaient été entraînés pour s'être rendus trop faciles. M. Lavoisier a donc voulu mettre cette vérité hors de doute; il a calciné de l'étain dans des cornues fermées hermétiquement, après avoir pesé avec exactitude l'étain et la cornue; il a vu qu'au bout d'un certain temps la calcination s'arrêtait, et qu'en continuant le feu il ne pouvait plus parvenir à calciner aucune partie d'étain ; alors il a cessé son opération, et, pesant ensuite

la cornue avant de la rouvrir, il a trouvé que le poids total n'avait pas changé; ouvrant enfin sa cornue, il a pesé l'étain, qu'il a trouvé augmenté de quelques grains, la cornue, pesée à part, avait le même poids qu'avant l'opération : l'augmentation réelle du poids de l'étain s'était donc faite absolument aux dépens de l'air renfermé dans la cornue, puisque le poids total, ainsi que le poids de la cornue, n'avait point changé. La calcination des métaux n'est donc pas seulement la séparation de leur phlogistique d'avec leur terre; cette calcination est accompagnée d'une nouvelle combinaison de leur terre avec l'air; l'air, regardé longtemps dans cette opération comme un agent nécessaire, mais purement mécanique, y devient nécessaire comme agent chimique; il est l'intermède qui, en se combinant avec la terre métallique, en dégage le phlogistique : telle est, du moins, l'explication de ce phénomène, si on veut suivre la théorie de Stahl, car cette théorie, longtemps regardée comme certaine, est attaquée maintenant; mais Stahl l'avait fondée sur un si grand nombre de faits, et de faits si bien analysés, qu'il faut craindre de trop se presser de l'abandonner. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. II, p. 97.)

On trouvera, dit M. Dumas, un sérieux intérêt à comparer l'analyse qui précède avec le document suivant, qui, publié après la mort de Lavoisier, jette le plus grand jour sur la situation des esprits à cette date critique où sa théorie lui est apparue pour la première fois. Ce document paraît avoir été écrit en 1792.

Détails historiques sur la cause de l'augmentation de poids qu'acquièrent les substances métalliques, lorsqu'on les chauffe pendant leur exposition à l'air [1].

Je n'ai point pour objet de présenter dans ce mémoire un historique complet des opinions qui ont été successi-

1. Voir plus haut (p. 499) les très justes réflexions de Biot. — J. G.

vement adoptées, par les physiciens et les chimistes, sur la cause de l'augmentation qu'acquièrent les substances métalliques lorsqu'on les soumet à l'action du feu. Cet exposé ne servirait qu'à faire voir combien l'esprit humain est susceptible de s'égarer lorsqu'il se livre à l'esprit de système, et avec quelle facilité le raisonnement nous trompe lorsque ses opérations ne sont pas continuellement redressées par l'expérience.

Un des auteurs qui ont le plus anciennement écrit sur cet objet est un médecin presque ignoré, nommé Jean Rey, qui vivait au commencement du XVII[e] siècle, à Bugue en Périgord, et qui était en correspondance avec le petit nombre de personnes qui cultivaient les sciences à cette époque.

Descartes ni Pascal n'avaient point encore paru; on ne connaissait ni le vide de Boyle, ni celui de Torricelli, ni la cause de l'ascension des liqueurs dans les tubes vides d'air; la physique expérimentale n'existait pas; l'obscurité la plus profonde régnait dans la chimie. Cependant Jean Rey, dans un ouvrage publié en 1630 sur la recherche de la cause par laquelle le plomb et l'étain augmentent de poids quand on les oxyde, développa des vues si profondes, si analogues à tout ce que l'expérience a confirmé depuis, si conformes à la doctrine de la saturation et des affinités, que je n'ai pu me défendre de soupçonner longtemps que les Essais de Jean Rey avaient été composés à une date très postérieure à celle que porte le frontispice de l'ouvrage.

Jean Rey, après avoir écarté victorieusement, non par des faits (car, à cette époque, l'art de faire des expériences était encore dans son enfance), mais par des raisonnements très concluants, les différentes causes auxquelles on pouvait attribuer l'augmentation de poids des oxydes métalliques, s'explique ainsi dans son XVI[e] Essai : « A cette demande doncques, appuyé sur les fondemens jà posés, je réponds et soutiens glorieusement que le surcroît de

poids vient de l'air, qui, dans le vase, a été espessi, appesanti et rendu aucunement adhésif par la véhémente et longuement continuée chaleur du fourneau; lequel air se mesle avecque la chaux (à ce aidant l'agitation fréquente), et s'attache à ses plus menues parties : non autrement que l'eau appesantit le sable que vous jettés et agités en icelle, pour l'amoitir et adhérer à ses moindres grains[1] ».

Jean Rey combat, dans cet ouvrage, l'opinion de Cardan (*de la Subtilité*, liv. V) sur l'augmentation de poids des oxydes métalliques; celle de Scaliger, celle de Cœsalpin, qui attribuaient cette augmentation à une suie condensée et réfléchie par le fourneau, et qui, suivant eux, retombait sur le métal. Il fait voir encore que l'augmentation du poids ne vient ni du vase, ni d'aucun principe émané du charbon, ni de l'humidité répandue dans l'air. On ne conçoit pas comment, sans expériences, et manquant d'un grand nombre de données préliminaires, Jean Rey a pu s'élever à ces conséquences par la seule force du raisonnement.

Il paraît que, vers la fin du dernier siècle, lorsque Boyle et quelques auteurs contemporains créèrent une science nouvelle, la physique expérimentale, dont les anciens n'avaient eu aucune idée, l'ouvrage de Jean Rey était entièrement tombé dans l'oubli. Boyle n'en fait aucune mention dans son *Traité de la pesanteur de la flamme et du feu*, publié en 1670, c'est-à-dire quarante ans environ après la publication de l'ouvrage de Jean Rey : fondé sur quelques expériences illusoires, il soutenait encore, à cette époque, que l'augmentation de poids qu'éprouvaient les métaux en s'oxydant était due à la fixation du feu.

Lémery, observateur exact et scrupuleux, a embrassé la même opinion : c'est également à l'union des corpuscules ignés, combinés avec le métal, qu'il attribuait et

1. *Essais* de Jean Rey, Docteur en médecine. Édition de 1777, p. 66.

leur conversion en oxyde, et l'augmentation de poids qui accompagne cette opération.

Charras, contemporain de Lémery, attribuait cette augmentation aux acides du bois et du charbon, qu'il supposait pénétrer à travers la substance des vaisseaux et se combiner avec le métal. Depuis, le même acide du bois et du charbon a reparu sous le nom d'*acidum pingue*, d'*acide igné*, et sous d'autres dénominations, qu'il serait superflu de rappeler.

Stahl ne pouvait ignorer le fait de l'augmentation de poids des métaux exposés au feu; cependant, non seulement il ne s'est occupé en aucune manière de l'expliquer, mais le système auquel il a ramené toute la doctrine chimique, et auquel on a donné, depuis lui, une si grande extension, se trouve entièrement en contradiction avec ce fait capital.

Stahl supposait que les métaux étaient un composé d'une terre métallique et d'un principe inflammable, qu'il a nommé *phlogiston* ou *phlogistique*; il prétendait qu'ils perdaient ce principe par l'oxydation, et qu'ils ne pouvaient repasser à l'état métallique, à moins qu'on ne leur rendît ce qu'ils avaient perdu.

Il était difficile de concevoir comment les métaux acquéraient du poids tandis que, dans l'opinion de Stahl, ils perdaient une partie de leur substance; et, réciproquement, comment ils diminuaient de poids au moment où ils reprenaient un des principes qu'ils avaient perdu. C'était une des principales difficultés qu'on pouvait opposer au système de Stahl, difficulté, cependant, qui n'a pas empêché qu'il n'ait eu un succès éphémère.

Guyton-Morveau a fait des efforts infructueux pour pallier cette contradiction, dans la dissertation qu'il a publiée sur cet objet, sous le titre de *Digressions académiques :* il a supposé que le phlogistique avait moins de pesanteur que l'air de l'atmosphère; il en a conclu que tous les corps qui acquièrent du phlogistique doivent

perdre une partie de leur poids; que ceux, au contraire, auxquels on enlève du phlogistique, doivent en acquérir. Cette explication aurait été soutenable, si l'augmentation de poids acquise par les oxydes métalliques n'eût été que d'une quantité égale à celle de l'air déplacé, ou ce qui revient au même, si elle eût disparu lorsqu'on les pesait dans le vide. Mais cette augmentation est beaucoup trop grande pour qu'on puisse l'attribuer à cette cause, puisqu'elle va, dans quelques métaux, au delà du tiers de leur poids. Il faut donc, ou abandonner l'explication donnée par Guyton-Morveau, ou aller jusqu'à supposer au phlogistique une pesanteur négative, une tendance à s'éloigner du centre de la terre, supposition qui se trouve en contradiction avec tous les faits avoués et reconnus par les disciples de Stahl.

Tel était l'état des connaissances, lorsqu'une suite d'expériences, entreprises, en 1772, sur les différentes espèces d'air ou de gaz qui se dégagent dans les effervescences et dans un grand nombre d'opérations chimiques, me firent connaître d'une manière démonstrative quelle était la cause de l'augmentation de poids qu'acquièrent les métaux lorsqu'on les expose à l'action du feu. J'ignorais alors ce que Jean Rey avait écrit en 1630; et, quand je l'aurais connu, je n'aurais pu regarder son opinion à cet égard que comme une assertion vague, propre à faire honneur au génie de l'auteur, mais qui ne dispensait pas les chimistes de constater la vérité de son opinion par des expériences. J'étais jeune; j'étais nouvellement entré dans la carrière des sciences; j'étais avide de gloire, et je crus devoir prendre quelques précautions pour m'assurer la propriété de ma découverte. Il y avait, à cette époque, une correspondance habituelle entre les savants de France et ceux d'Angleterre; il régnait, entre les deux nations, une sorte de rivalité, qui donnait de l'importance aux expériences nouvelles, et qui portait quelquefois les écrivains de l'une ou de l'autre nation à les contester à leur

véritable auteur. Je crus donc devoir déposer, le 1er novembre 1772, l'écrit suivant, cacheté, entre les mains du secrétaire de l'Académie. Ce dépôt a été ouvert à la séance du 5 mai suivant, et mention en a été faite en tête de l'écrit. Il était conçu en ces termes :

« Il y a environ huit jours que j'ai découvert que le soufre, en brûlant, loin de perdre de son poids, en acquérait au contraire; c'est-à-dire que d'une livre de soufre on pouvait retirer beaucoup plus d'une livre d'acide *vitriolique*, abstraction faite de l'humidité de l'air; il en est de même du phosphore : cette augmentation de poids vient d'une quantité prodigieuse d'air qui se fixe pendant la combustion et qui se combine avec les vapeurs.

« Cette découverte, que j'ai constatée par des expériences que je regarde comme décisives, m'a fait penser que ce qui s'observait dans la combustion du soufre et du phosphore pouvait bien avoir lieu à l'égard de tous les corps qui acquièrent du poids par la combustion et la *calcination*; et je me suis persuadé que l'augmentation de poids des *chaux* métalliques tenait à la même cause. L'expérience a complètement confirmé mes conjectures; j'ai fait la réduction de la *litharge* dans des vaisseaux fermés, avec l'appareil de Hales, et j'ai observé qu'il se dégageait au moment du passage de la *chaux* en métal, une quantité considérable d'air, et que cet air formait un volume mille fois plus grand que la quantité de *litharge* employée. Cette découverte me paraissant une des plus intéressantes de celles qui aient été faites depuis Stahl, j'ai cru devoir m'en assurer la propriété, en faisant le présent dépôt entre les mains du secrétaire de l'Académie, pour demeurer secret jusqu'au moment où je publierai mes expériences.

« A Paris, ce 1er novembre 1772.

Signé : « LAVOISIER. »

En rapprochant cette première notice de celle que j'avais déposée à l'Académie, le 20 octobre précédent, sur la combustion du phosphore; du mémoire que j'ai lu à l'Académie, à sa séance publique de Pâques 1773; enfin, de ceux que j'ai successivement publiés, il est aisé de voir que j'avais conçu, dès 1772, tout l'ensemble du système que j'ai publié depuis sur la combustion.

Cette théorie, à laquelle j'ai donné de nombreux développements, en 1777, et que j'ai portée, presque dès cette époque, à l'état où elle est aujourd'hui, n'a commencé à être enseignée par Fourcroy que dans l'hiver de 1786 à 1787; elle n'a été adoptée par Guyton-Morveau qu'à une époque postérieure; enfin, en 1785, Berthollet écrivait encore dans le système du phlogistique. Cette théorie n'est donc pas, comme je l'entends dire, la théorie des chimistes français, elle est *la mienne*, et c'est une propriété que je réclame auprès de mes contemporains et de la postérité. D'autres, sans doute, y ont ajouté de nouveaux degrés de perfection, mais on ne pourra pas me contester, j'espère, toute la théorie de l'oxydation et de la combustion; l'analyse et la décomposition de l'air par les métaux et les corps combustibles; la théorie de l'acidification; des connaissances plus exactes sur un grand nombre d'acides, notamment des acides végétaux; les premières idées de la composition des substances végétales et animales; la théorie de la respiration, à laquelle Seguin a concouru avec moi. Ce recueil[1] présentera toutes les pièces sur lesquelles je me fonde, avec leur date; le lecteur jugera. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. II, p. 99.)

1. Le recueil de ses mémoires, dont la publication fut interrompue par sa mort. (*Note* de M. Dumas.)

Mémoire sur la calcination de l'étain dans les vaisseaux fermés et sur la cause de l'augmentation du poids qu'acquiert ce métal pendant cette opération.

Il résulte des expériences dont j'ai rendu compte dans les chapitres v et vi de l'ouvrage que j'ai publié au commencement de cette année, sous le titre d'*Opuscules physiques et chimiques*, que, lorsqu'on calcine au verre ardent du plomb ou de l'étain sous une cloche de verre, plongée dans de l'eau ou dans du mercure, le volume de l'air diminue d'un vingtième environ par l'effet de la calcination, et que le poids du métal se trouve augmenté d'une quantité à peu près égale à celle de l'air détruit ou absorbé [1].

J'ai cru pouvoir conclure, de ces expériences, qu'une portion de l'air lui-même ou d'une matière quelconque, contenue dans l'air, et qui y existe dans un état d'élasticité, se combinait avec les métaux pendant leur calcination, et que c'était à cette cause qu'était due l'augmentation de poids des chaux métalliques....

Si l'augmentation de poids des métaux calcinés dans les vaisseaux fermés est due, comme le pensait Boyle, à

1. A la fin de ce chapitre vi des *Opuscules*, Lavoisier avait ajouté la note suivante importante à rappeler en présence des revendications tardives de quelques-uns en faveur de Priestley. — J. G.

« Je n'avais pas connaissance des expériences de M. Priestley, lorsque je me suis occupé de celles rapportées dans ce chapitre. Il a observé, comme moi et avant moi, ainsi qu'on l'a vu dans la première partie de cet ouvrage, qu'il y avait une diminution dans le volume de l'air pendant la calcination des métaux. Cette diminution dans quelques expériences a été jusqu'au cinquième, même au quart du volume de l'air qu'il avait employé.... Au reste, M. Priestley s'est persuadé que la diminution du volume de l'air qu'il a observée venait d'une surabondance de phlogistique qui lui était fourni par la calcination du métal, et il ne paraît pas avoir soupçonné que la calcination elle-même fût une absorption, une fixation du fluide élastique. » (LAVOISIER, *Œuvres*, t. I, p. 621.)

l'addition de la matière de la flamme et du feu qui pénètre à travers les pores du verre et qui se combine avec le métal, il s'ensuit que, si, après avoir introduit une quantité connue de métal dans un vaisseau de verre, et l'avoir scellé hermétiquement, on en détermine exactement le poids; qu'on procède ensuite à la calcination par le feu des charbons, comme l'a fait Boyle; et enfin, qu'on repèse le même vaisseau après la calcination, avant de l'ouvrir, son poids doit se trouver augmenté de toute la quantité de matière du feu qui s'est introduite pendant la calcination.

Si, au contraire, me suis-je dit encore, l'augmentation de poids de la chaux métallique n'est point due à la combinaison de la matière du feu ni d'aucune matière extérieure, mais à la fixation d'une portion de l'air contenu dans la capacité du vaisseau, le vaisseau ne devra point être plus pesant après la calcination qu'auparavant, il devra seulement se trouver en partie vide d'air, et ce n'est que du moment où la portion d'air manquante sera rentrée que l'augmentation de poids du vaisseau devra avoir lieu.

D'après ces réflexions, je me suis muni de plomb et d'étain très purs, que j'ai coulés en baguettes ou cylindres de trois à quatre lignes de diamètre au plus, afin d'avoir la facilité de les introduire dans des cornues de verre d'une ouverture étroite. Pour parvenir à les couler ainsi en cylindres, je m'y suis pris ainsi qu'il suit : j'ai coupé, avec des ciseaux, de petites bandes de papier de 6 à 8 lignes de largeur; je les ai roulées en spirales de manière à former des moules ou cylindres creux; pour donner plus de consistance à ces moules, je les ai garnis de plusieurs tours de ficelle fine; enfin, je les ai étranglés par le bout qui devait former le fond du moule par un tour de ficelle bien serrée; lorsque mes moules ont été ainsi préparés, j'ai versé dans chacun d'eux, avec un entonnoir de carte, du plomb ou de l'étain, et, lorsque le

métal a été suffisamment refroidi, j'ai retiré leur enveloppe de papier, et j'ai nettoyé très exactement la surface des cylindres en les grattant avec un couteau.

Cette première opération faite, j'ai rassemblé une certaine quantité de cornues neuves, de verre blanc, de capacité convenable et parfaitement propres en dedans; j'ai introduit dans chacune 8 onces de plomb ou d'étain, pesées avec l'exactitude la plus scrupuleuse; après quoi, j'ai tiré l'extrémité de leur col à la lampe d'émailleur, de manière qu'il se terminât en un tube capillaire très fin, que j'ai laissé ouvert.

D'un grand nombre de cornues, de capacités différentes, que j'avais ainsi préparées, les trois quarts et demi au moins ont cassé, soit à la lampe d'émailleur, soit pendant la fusion ou le refroidissement du métal : je dois observer même que ce genre d'expérience n'est pas sans danger, et que, lorsque les vaisseaux ont été une fois scellés hermétiquement, on ne doit point opérer sans avoir le visage couvert d'un masque solide, par exemple, de fer-blanc et garni de glaces très épaisses à l'endroit des yeux.

Ces difficultés se sont trouvées telles, dans le détail des opérations, que je n'ai pu amener que deux expériences à bien pour l'étain, et à peine une pour le plomb; mais, indépendamment des conséquences précises et certaines que j'ai pu tirer de celles qui ont eu un succès complet, quelques-unes des autres n'ont pas été absolument perdues, soit relativement au but de ce mémoire, soit relativement à d'autres objets que je n'avais pas directement en vue.

Calcination de l'étain dans une cornue de verre de 43 pouces cubiques de capacité.

J'ai pris une des cornues préparées comme je viens de l'exposer, c'est-à-dire dont le col avait été rétréci à la lampe en un tube capillaire; cette cornue contenait,

comme toutes les autres, 8 onces d'étain, pesées très exactement; l'ayant pesé pour connaître le poids de la cornue, indépendamment des 8 onces d'étain qu'elle contenait, j'ai eu le résultat qui suit, savoir :

	Onces.	Gros.	Grains.
Poids de l'étain....................	8	0	0,00
Poids de la cornue..................	5	2	2,50
Total................	13	2	2,50

La balance dont je me suis servi pour toutes les expériences contenues dans ce mémoire a été construite par M. Chemin, ajusteur de la Monnaie, avec des précautions particulières; elle peut peser jusqu'à 8 et 10 livres, et j'ai lieu de croire qu'il n'existe aucun instrument de ce genre qui soit plus parfait. J'ai déjà eu occasion de parler de cette même balance dans un mémoire sur le changement d'eau en terre, qui se trouve dans les Mémoires de cette Académie, année 1772.

Après avoir ainsi déterminé le poids de la cornue et de l'étain qu'elle contenait, je l'ai présentée sur un feu de charbon, en la tenant d'une main par le col à une distance convenable du feu, et en ayant soin de chauffer lentement pour éviter les fractures; j'ai ainsi continué à faire chauffer jusqu'à ce que l'étain commençât à fondre; alors, sans retirer la cornue de dessus le feu, j'ai fait sceller avec un chalumeau l'ouverture capillaire qui restait au bout du col de la cornue, puis j'ai fait refroidir le vaisseau aussi lentement que je l'avais échauffé.

Cette précaution de faire sortir une portion de l'air contenu dans la cornue avant de la fermer hermétiquement est indispensable, sans quoi on s'exposerait à des explosions dangereuses, ou bien on serait obligé d'employer des cornues d'un verre très épais, et alors leur grande pesanteur rendrait la balance moins sensible, et il en résulterait une nouvelle source d'incertitude et d'erreur.

Lorsque la cornue a été ainsi vidée d'une partie de l'air

qu'elle contenait, et qu'elle a été scellée hermétiquement, je l'ai reportée de nouveau à la balance, et j'ai trouvé pour son poids :

		Onces.	Gros.	Grains.	PESANTEUR MOYENNE. Onces.	Gros.	Grains.
Dans les bassins	n° 1....	13	1	67,00	13	1	68,75
	n° 2....	13	1	70,50			

J'ai recommencé la même pesée trois jours après, et j'ai eu :

Dans les bassins	n° 1....	13	1	68,00	13	1	69,00
	n° 2....	13	1	70,00			
Total des deux pesanteurs moyennes......					26	3	65,75
Et pour la moitié, que je regarderai comme la pesanteur effective............................					13	1	68,87

Quelque exactes que soient les balances qu'on emploie, cette manière de peser, en changeant de bassin et en prenant un milieu entre les résultats, est la seule qui puisse conduire à une exactitude rigoureuse.

	Onces.	Gros.	Grains.
Le poids, avant la sortie de l'air et avant que la cornue eût été scellée hermétiquement, était de	13	2	2,50
Il s'est trouvé ensuite de......................	13	1	68,87
Partant, poids de l'air qui avait été chassé par la chaleur....................................	0	0	5,63

Ce poids équivaut à peu près à douze pouces cubiques; la capacité de la cornue était de quarante-trois pouces cubiques environ; d'où il suit que j'avais fait sortir par la chaleur, avant de sceller hermétiquement la cornue, à peu près les 3/7 de la quantité totale d'air contenue dans sa capacité.

Ces différentes opérations préliminaires faites, j'ai procédé à la calcination, et je vais transcrire, à cet égard, ce qui se trouve sur mon journal d'expériences, à l'article du 14 février de cette année 1774.

La cornue a été présentée au feu à 10 heures 45 minutes du matin, mais l'étain n'a été mis en fusion complète qu'à 10 heures 52 minutes, c'est-à-dire au bout de 7 minutes. Bientôt la surface a perdu le brillant qu'elle avait dans le premier instant, elle s'est couverte d'une pellicule, qui, peu à peu, a pris plus de consistance, et qui s'est comme ridée; il s'y est formé en même temps des espèces de flocons noirs. Peu de temps après, je me suis aperçu qu'il se déposait au fond du vase, sous l'étain, une poudre noire, plus pesante que le métal en fusion; cette espèce de chaux ne paraissait pas se former à la surface du métal, comme dans la calcination à l'air libre, mais, au contraire, au fond et sous le métal. Au bout d'une demi-heure, la quantité de poudre noire a cessé d'augmenter, la surface même du métal s'est nettoyée, il ne s'y est plus montré de pellicule ni de flocons noirs; elle était seulement un peu moins brillante que n'était le métal dans le premier instant de la fusion.

La poudre noire dont je viens de parler, quoique plus lourde que le métal en fusion, était dans un tel état de division, que lorsqu'on agitait la cornue, il s'en élevait une portion qui voltigeait dans son intérieur comme une espèce de suie très légère, qui se déposait aux parois intérieures du vaisseau.

Au bout d'une heure 10 minutes, voyant qu'il ne se présentait aucune circonstance nouvelle dans l'expérience, et que toutes choses demeuraient dans le même état, j'ai commencé à laisser refroidir. Quoique j'eusse beaucoup ménagé le feu, pendant le cours de l'opération, le fond de la cornue cependant s'était un peu déformé et s'était allongé en forme de poire, ce qui semblerait indiquer qu'il ne s'était pas fait, pendant le cours de l'opération, de pression extérieure qui tendît à la faire rentrer sur elle-même, ou, au moins, que cette pression avait été plus que contre-balancée par le poids des huit onces d'étain qui pesaient sur le fond de la cornue.

Lorsque le vaisseau a été suffisamment refroidi, je n'ai rien eu de plus pressé que de le peser de nouveau sans l'ouvrir, et, avant même qu'il fût entièrement refroidi, j'ai eu les résultats qui suivent :

Pesanteur totale avant la rentrée de l'air.

		Onces.	Gros.	Grains.	Onces.	Gros.	Grains
Dans les bassins	n° 1....	13	1	66,90	13	1	68,60
	n° 2....	13	1	70,30			
La pesanteur de la même cornue scellée hermétiquement, avant la calcination, était de....					13	1	68,87
Différence en moins.................. ...					00	0	00,27

Cette différence est si petite, qu'elle peut être regardée comme nulle; on verra, d'ailleurs, dans la suite, qu'il existe d'autres causes d'incertitude et d'erreur que je ne connaissais pas alors, et qui peuvent occasionner des différences plus considérables.

D'après cette première observation, on peut déjà regarder comme constant qu'il ne se combine avec les métaux, pendant leur calcination, rien d'extérieur à la cornue; en supposant donc, comme la suite de cette expérience va le faire voir, qu'il y eût augmentation de poids du métal, il fallait en chercher la cause dans l'intérieur même de la cornue.

Cette première vérité reconnue, j'ai procédé à l'ouverture de la cornue en la chauffant brusquement, vers le milieu de sa panse, avec un charbon ardent, et en mouillant ensuite la place échauffée avec un peu d'eau; je suis parvenu, à l'aide de cet artifice, à former une languette ou fêlure, que j'ai conduite ensuite avec un charbon ardent; et j'ai divisé ainsi la cornue en deux portions presque égales. J'ai eu soin de faire cette opération sur une grande feuille de papier blanc, afin de m'assurer qu'il ne s'était pas perdu le moindre petit fragment de la cornue.

Lorsque la cornue a été ainsi ouverte, et que l'air de l'extérieur a été remis en équilibre avec celui de l'intérieur du vaisseau, j'ai repesé de nouveau le tout ensemble, savoir la cornue, le plomb et la poudre noire ou chaux, et j'ai trouvé :

Pesanteur totale après la rentrée de l'air.

		Onces.	Gros.	Grains.	Onces.	Gros.	Grains.
Dans les bassins	n° 1....	13	2	6,75	13	2	5,63
	n° 2....	13	2	4,50			
Cette même cornue pleine d'air pesait, avant la calcination....................................					13	2	2,50
Donc, augmentation de poids pendant la calcination..					00	0	3,13

On vient de voir que, tant que la cornue était demeurée scellée hermétiquement, il n'y avait eu aucune augmentation de poids par l'effet de la calcination, que cette augmentation n'avait eu lieu qu'après la rentrée de l'air extérieur; donc, dans cette opération, il s'est trouvé plus d'air dans la cornue après qu'avant la calcination, et c'est évidemment à cet excès d'air qu'est due l'augmentation du poids; si donc cette même augmentation de poids se retrouve dans le métal, il sera prouvé que l'excès d'air qui est rentré a servi à remplacer la portion qui s'était combinée avec le métal pendant la calcination, et qui en avait augmenté le poids : j'ai, en conséquence, pesé séparément la cornue, le plomb et la chaux que j'avais obtenus, et j'ai eu les résultats qui suivent, savoir :

Poids de l'étain.

					PESANTEUR MOYENNE.		
		Onces.	Gros.	Grains.	Onces.	Gros.	Grains.
Dans les bassins	n° 1....	7	6	37,75	7	6	37,50
	n° 2....	7	6	37,25			
	n° 1....	7	6	37,50	7	6	37,25
	n° 2....	7	6	37,00			
Somme des deux pesanteurs.........					15	5	2,75

	Onces	Gros.	Grains.
Moitié ou pesanteur effective................	7	6	37,37
Poids de la poudre noire ou chaux d'étain à la balance d'essai..............................	»	1	37,75
Total du poids, tant de l'étain que de la chaux.	8	»	3,12
Ce même étain ne pesait, avant la calcination, que....................................	8	»	00
Augmentation.	»	»	3,12

Pour faire ma preuve, j'ai pesé les deux morceaux de ma cornue, et j'ai eu :

	Onces.	Gros.	Grains.
Poids de la cornue seule....................	5	6	2,50
Poids de l'étain............................	7	5	37,37
Poids de la poudre noire ou chaux d'étain...	»	1	37,75
Pesanteur totale après la calcination.........	13	2	5,62
Pesanteur avant la calcination...............	13	2	2,50
Augmentation.........................	»	»	3,12

La quantité d'air contenue dans la cornue était de 43 pouces cubiques, c'est-à-dire d'environ 21 grains; on en avait chassé, comme on l'a vu plus haut, 5 grains 2/3 avant de sceller hermétiquement le vaisseau; la calcination ne s'était donc opérée que dans 15 grains 1/3 d'air, et l'absorption avait été d'un cinquième environ. L'expérience suivante, ayant été faite dans un vaisseau plus grand, présentera une augmentation de poids plus marquée, et donnera par conséquent des résultats plus satisfaisants.

Lavoisier donne ensuite le détail d'une seconde expérience; puis il conclut :

Que les cornues scellées hermétiquement, pesées avant et après la calcination de la portion d'étain qu'elles contiennent, ne présentent aucune différence de pesanteur, ce qui prouve évidemment que l'augmentation de poids

qu'acquiert le métal ne provient ni de la matière du feu, ni d'aucune matière extérieure à la cornue;

Que, dans toute calcination d'étain, l'augmentation de poids du métal est assez exactement égale au poids de la quantité d'air absorbée, ce qui prouve que la portion de l'air qui se combine avec le métal, pendant la calcination, est à peu près de pesanteur spécifique égale à celle de l'air de l'atmosphère.

Je pourrais ajouter que, d'après des considérations particulières puisées dans les expériences mêmes que j'ai faites sur la calcination des métaux dans les vaisseaux fermés, considérations qu'il me serait difficile de faire saisir au lecteur sans entrer dans un trop long détail, je serais porté à croire que la portion de l'air qui se combine avec les métaux est un peu plus lourde que l'air de l'atmosphère, et que celle qui reste, au contraire, après la calcination, est un peu plus légère. L'air de l'atmosphère, dans cette supposition, formerait un résultat moyen entre ces deux airs, relativement à la pesanteur spécifique; mais il faut des preuves plus directes que je n'en ai pour pouvoir prononcer sur cet objet, d'autant plus que ces différences sont très peu considérables....

Il n'en a pas été de même d'une nouvelle route que ces expériences m'ont ouverte. On vient de voir qu'une portion de l'air est susceptible de se combiner avec les substances métalliques pour former des chaux, tandis qu'une autre portion de ce même air se refuse constamment à cette combinaison; cette circonstance m'a fait soupçonner que l'air de l'atmosphère n'est point un être simple, qu'il est composé de substances très différentes, et le travail que j'ai entrepris sur la calcination et la revivification des chaux de mercure m'a singulièrement confirmé dans cette opinion. Sans anticiper sur les conséquences qui résultent de ce travail, je crois pouvoir annoncer ici que la totalité de l'air de l'atmosphère n'est pas dans un état respirable; que c'est la portion salubre qui se combine avec les métaux

pendant leur calcination, et que ce qui reste après la calcination, est une espèce de mofette, incapable d'entretenir la respiration des animaux, ni l'inflammation des corps. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. II, p. 105.)

Ce mémoire, lu en novembre 1774, avait été remis au mois de mai. Ainsi, au commencement de cette année 1774, Lavoisier, sans nommer encore l'oxygène ni l'azote, connaissait leur densité respective, leur proportion dans l'air, voisine de 1/5 et 4/5, une partie enfin de leurs propriétés.

Aussi, tout de suite après, trouvons-nous le mémoire suivant :

Sur la nature du principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination et qui en augmente le poids.

Existe-t-il différentes espèces d'air?...

La plupart des chaux métalliques ne se réduisent, c'est-à-dire ne reviennent à l'état de métal, que par le contact immédiat d'une matière charbonneuse, ou d'une substance quelconque qui contienne ce qu'on nomme le *phlogistique*. Le charbon qu'on emploie se détruit en entier dans cette opération, lorsque la dose en est bien proportionnée; d'où il suit que l'air qui se dégage des réductions métalliques par le charbon n'est pas un être simple; qu'il est en quelque façon le résultat de la combinaison du fluide élastique, dégagé du métal, et de celui dégagé du charbon; donc, de ce que l'on obtient ce fluide dans l'état d'air fixe, on n'est point en droit d'en conclure qu'il existait dans cet état dans la chaux métallique avant la combinaison avec le charbon.

Ces réflexions m'ont fait sentir combien il était essentiel, pour débrouiller le mystère de la réduction des chaux métalliques, de diriger toutes mes expériences sur celles qui sont réductibles sans addition.

Après avoir essayé sans succès la chaux ou oxyde de fer, Lavoisier s'adresse au *mercure précipité per se*, « qui n'est qu'une chaux de mercure, comme l'ont déjà avancé quelques auteurs ».

Toutefois, comme ce fait n'est pas encore admis par tous, il commence par s'assurer qu'il en est bien ainsi. Pour cela, il mêle du charbon avec le mercure précipité *per se*, le chauffe dans une petite cornue et obtient un air qui tue les animaux, éteint les bougies, précipite l'eau de chaux, se combine facilement avec les alcalis, c'est-à-dire de l'air fixe. Ce point essentiel établi, il chauffe le mercure précipité *per se* tout seul, et obtient un gaz qui ne précipite pas l'eau de chaux, qui ne se combine pas avec les alcalis, qui peut servir de nouveau à la calcination des métaux, qui, enfin, n'avait aucune des propriétés de l'air fixe.

Loin de faire périr comme lui les animaux, il semblait au contraire plus propre à entretenir leur respiration ; non seulement les bougies et les corps embrasés ne s'y éteignaient pas, mais la flamme s'y élargissait d'une manière très remarquable; elle jetait beaucoup plus de lumière et de clarté que dans l'air commun; le charbon y brûlait avec un éclat presque semblable à celui du phosphore, et tous les corps combustibles en général s'y consommaient avec une étonnante rapidité....

Il paraît prouvé, d'après cela, que le principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination et qui en augmente le poids, n'est autre chose que la portion la plus pure de l'air même qui nous environne, que nous respirons, et qui passe, dans cette opération, de l'état d'expansibilité à celui de solidité; si donc on l'obtient dans l'état d'air fixe, dans toutes les réductions métalliques où l'on emploie le charbon, c'est à la combinaison de ce dernier avec la portion pure de l'air qu'est dû cet effet, et il est très vraisemblable que toutes les chaux métalliques ne donneraient, comme celles de mercure, que de l'air éminemment respirable, si l'on pouvait toutes les réduire sans addition, comme on réduit le *mercure précipité per se*.

Et Lavoisier ajoute :

Puisque le charbon disparaît en entier dans la revivification de la chaux de mercure, et qu'on ne retire dans cette opération que du mercure et de l'air fixe, on est forcé d'en conclure que le principe auquel on a donné jusqu'ici le nom d'*air fixe*, est le résultat de la combinaison de la portion éminemment respirable de l'air avec le charbon, et c'est ce que je me propose de développer d'une manière plus satisfaisante, dans la suite de mémoires que je donnerai sur cet objet.

Ce mémoire fut lu à la rentrée de Pâques 1775. Et Lavoisier ajoute dans une note :

Les premières expériences relatives à ce mémoire ont été faites, il y a plus d'un an. Celles relatives au *mercure précipité per se*, tentées d'abord au verre ardent en novembre 1774, furent répétées ensuite les 28 février, 1, 2 et 31 mars 1775 avec tous les soins possibles devant M. le duc de la Rochefoucault et MM. Trudaine, de Montigny, Macquer et Cadet. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. II, p. 122.)

Ces dates ont une grande importance; on voit que sauf le mot oxygène, qui viendra un peu plus tard, Lavoisier, à cette date, connaît la composition de l'air, les propriétés de l'oxygène, son rôle dans la combustion, la composition de l'acide carbonique encore appelé air fixe, la présence et le rôle de l'oxygène dans le nitre et dans l'acide nitreux (azotique)!

Priestley, il est vrai, le 1er août 1774, avait obtenu en chauffant du *mercure précipité per se*, un air éminemment propre à la combustion qu'il appela *air déphlogistiqué*, et dans un voyage à Paris qu'il fit à la fin de 1774, il fit part de ses expériences à Lavoisier qui travaillait de son côté sur le même sujet; mais, dit Priestley, « je n'avais pas alors la moindre idée des faits remarquables qu'on en pouvait déduire;... jusqu'au 1er mars 1775 j'avais si peu l'idée que le gaz qui se dégage de la calcination du *mercure précipité per se* était sain qu'il ne me vint pas à l'idée de le respirer comme le gaz nitreux (protoxyde d'azote) »,... et

plus loin : « J'ai toujours parlé de ce gaz devant mes amis, comme étant en substance le même que l'air ordinaire ».

Écoutons maintenant Lavoisier dans un nouveau mémoire, lu le 20 avril 1776.

Sur l'existence de l'air dans l'acide nitreux (azotique).

Je commencerai, avant d'entrer en matière, par prévenir le public qu'une partie des expériences contenues dans ce mémoire ne m'appartient point en propre; peut-être même, rigoureusement parlant, n'en est-il aucune dont M. Priestley ne puisse réclamer la première idée; mais, comme les mêmes faits nous ont conduits à des conséquences diamétralement opposées, j'espère que, si on me reproche d'avoir emprunté des preuves des ouvrages de ce célèbre physicien, on ne me contestera pas au moins la propriété des conséquences....

Puis, après avoir obtenu un sel mercuriel (azotate de mercure), en chauffant du mercure avec l'acide nitreux, il décompose ce sel par la chaleur :

Celui-ci s'étant converti en un beau précipité rouge et ayant continué de le pousser à un degré de feu modéré, j'en ai obtenu en 7 heures de temps, 224 pouces cubiques d'un air beaucoup plus pur que l'air commun, un peu plus pesant que lui, dans lequel les lumières brûlaient avec une flamme beaucoup plus grande, beaucoup plus large et beaucoup plus vive, et qu'à tous ses caractères je n'ai pu méconnaître pour être le même que j'avais retiré de la chaux de mercure, connue sous le nom de *mercure précipité per se*, et que M. Priestley a retiré d'un grand nombre de substances, en les traitant par l'esprit de nitre. A mesure que cet air s'était dégagé, le mercure s'était réduit et j'ai retrouvé, à quelques grains près, les 2 onces et 1 gros de mercure que j'avais employés dans la dissolution ; cette petite perte pouvait provenir d'un peu de sublimé jaune et rouge qui s'était attaché au dôme de la cornue....

Le mercure était sorti de cette expérience comme il y était entré, c'est-à-dire sans altération ni dans sa qualité, ni même sensiblement dans son poids.

Et Lavoisier conclut :

L'acide nitreux tiré du salpêtre par l'argile, d'après cela, n'est autre chose que de l'air nitreux [protoxyde d'azote] combiné avec un volume à peu près égal au sien de la portion la plus pure de l'air, et avec une quantité assez considérable d'eau.... On ne manquera pas sans doute de demander ici si le phlogistique du métal ne joue pas quelque rôle dans cette opération : *Sans oser décider une question d'une aussi grande conséquence, je répondrai que puisque le mercure sort de cette opération précisément tel qu'il y était entré, il n'y a pas d'apparence qu'il ait perdu ni repris du phlogistique, à moins qu'on ne prétende que le phlogistique qui a servi à la réduction du métal a passé à travers les vaisseaux.*

.... Je terminerai ce mémoire, comme je l'ai commencé, en rendant hommage à M. Priestley de la plus grande partie de ce qu'il peut contenir d'intéressant; mais l'amour de la vérité et le progrès des connaissances auquel doivent tendre tous nos efforts, m'obligent en même temps de relever une erreur dans laquelle il est tombé et qu'il serait dangereux de laisser accréditer. Ce physicien, justement célèbre, ayant reconnu qu'en combinant de l'acide nitreux avec une terre quelconque, il en retirait constamment de l'air commun, ou de l'air meilleur que l'air commun, a cru pouvoir en conclure que l'air de l'atmosphère est un composé d'air nitreux et de terre. Cette idée hardie se trouve suffisamment renversée par les expériences contenues dans ce mémoire : il est évident que ce n'est point l'air qui est un composé d'acide nitreux, comme le prétend M. Priestley, mais au contraire l'acide nitreux qui est un composé d'air. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. II, p. 129.)

Le 21 mars 1777, nouveau mémoire :

Sur la combustion du phosphore de Kunckel, et sur la nature de l'acide qui résulte de cette combustion.

Lavoisier rappelle que le phosphore, en brûlant en vases clos, absorbe une partie de l'air et augmente de poids.

L'air qui a été ainsi diminué, autant qu'il le peut être, par la combustion du phosphore n'est pas plus dense que l'air de l'atmosphère; sa pesanteur spécifique même se trouve plutôt diminuée qu'augmentée; il n'est plus susceptible de servir à la respiration des animaux, d'entretenir la combustion,... en un mot, il est absolument dans l'état de *mofette* et, en conséquence, pour éviter de le confondre avec aucune autre espèce d'air, je le désignerai... sous le nom de *mofette atmosphérique*. Mais si, à cet air ainsi décomposé et qui ne conserve plus les principaux caractères de l'air ordinaire, on ajoute une quantité d'air déphlogistiqué ou air éminemment respirable, tiré de la chaux de plomb ou de mercure, égale au volume d'air qui a été absorbé pendant la combustion, il redevient respirable, susceptible d'entretenir la respiration des animaux, la combustion des corps, etc. En un mot, il reprend toutes les propriétés qu'il avait avant la combustion....

J'espère, dit-il un peu plus loin, qu'on me trouvera suffisamment autorisé à conclure, des expériences que je viens de rapporter, tant sur le soufre que sur le phosphore : 1° que l'air de l'atmosphère, comme je l'ai avancé déjà plusieurs fois, est composé d'un quart environ d'air déphlogistiqué, ou air éminemment respirable, et de trois quarts d'un air méphitique et nuisible, d'une espèce de gaz de nature inconnue; 2° que le phosphore, en brûlant, n'agit que sur la portion d'air éminemment respirable, sans avoir aucune action sur la mofette, qu'on peut regarder comme un milieu purement passif et qui paraît

être absolument le même après et avant la combustion; 3° que les acides vitriolique et phosphorique sont composés de plus de la moitié de leur poids d'air éminemment respirable. Je ferai voir, dans la suite, comment on peut parvenir à retrouver, par la voie des combinaisons, ce même air éminemment respirable qui entre dans leur composition. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. II, p. 139.)

Mémoire sur la combustion en général [1].

Autant l'esprit de système est dangereux dans les sciences physiques, autant il est à craindre qu'en entassant sans ordre une trop grande multiplicité d'expériences, on n'obscurcisse la science au lieu de l'éclaircir; qu'on n'en rende l'accès difficile à ceux qui se présenteront pour en franchir l'entrée; enfin qu'on n'obtienne, pour prix de longs et pénibles travaux, que désordre et confusion. Les faits, les observations, les expériences, sont les matériaux d'un grand édifice; mais il faut éviter, en les rassemblant, de former encombrement dans la science; il faut, au contraire, s'attacher à les classer, à distinguer ce qui appartient à chaque ordre, à chaque partie du tout auquel ils appartiennent.

Les systèmes, en physique, considérés sous ce point de vue, ne sont plus que des instruments propres à soulager la faiblesse de nos organes : ce sont, à proprement parler, des méthodes d'approximation qui nous mettent sur la voie de la solution du problème; ce sont des hypothèses qui, successivement modifiées, corrigées et changées à mesure qu'elles sont démenties par l'expérience, doivent nous conduire immanquablement un jour, à force d'exclusions et d'éliminations, à la connaissance des vraies lois de la nature.

1. *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1777, p. 592.

Enhardi par ces réflexions, je hasarde de proposer aujourd'hui à l'Académie une théorie nouvelle de la combustion; ou plutôt, pour parler avec la réserve dont je me suis imposé la loi, une hypothèse, à l'aide de laquelle on explique d'une manière très satisfaisante tous les phénomènes de la combustion, de la calcination, et même, en partie, ceux qui accompagnent la respiration des animaux. J'ai déjà jeté les premiers fondements de cette hypothèse, p. 279 et 280 du tome I de mes *Opuscules physiques et chimiques*; mais j'avoue que, peu confiant dans mes propres lumières, je n'osai pas alors mettre en avant une opinion qui pouvait paraître singulière, et qui était directement contraire à la théorie de Stahl, et à celles de plusieurs hommes célèbres qui l'ont suivi.

Quoiqu'une partie des raisons qui m'ont arrêté subsistent peut-être encore aujourd'hui, cependant les faits qui se sont multipliés depuis cette époque, et qui me paraissent favorables à mes idées, m'ont affermi dans mon opinion : sans être peut-être plus fort, je suis devenu plus confiant, et je crois avoir assez de preuves, ou au moins de probabilités, pour que ceux mêmes qui ne seraient pas de mon avis ne puissent me blâmer d'avoir écrit.

On observe, en général, dans la combustion des corps, quatre phénomènes constants, qui paraissent être des lois dont la nature ne s'écarte jamais; quoique ces phénomènes se trouvent implicitement énoncés dans d'autres mémoires, je ne puis cependant me dispenser de les rappeler ici en peu de mots.

PREMIER PHÉNOMÈNE. — Dans toute combustion, il y a dégagement de matière du feu ou de la lumière.

SECOND PHÉNOMÈNE. — Les corps ne peuvent brûler que dans un très petit nombre d'espèces d'airs, ou plutôt même il ne peut y avoir de combustion que dans une seule espèce d'air, dans celle que M. Priestley a nommée *air déphlogistiqué*, et que je nommerai ici *air pur*. Non seulement les corps auxquels nous donnons le nom de

combustibles ne brûlent ni dans le vide, ni dans aucune autre espèce d'air, mais ils s'y éteignent, au contraire, aussi promptement que si on les plongeait dans de l'eau ou dans un autre fluide quelconque.

TROISIÈME PHÉNOMÈNE. — Dans toute combustion, il y a destruction ou décomposition de l'air pur, dans lequel se fait la combustion, et le corps brûlé augmente de poids exactement dans la proportion de la quantité d'air détruit ou décomposé.

QUATRIÈME PHÉNOMÈNE. — Dans toute combustion, le corps brûlé se change en un acide par l'addition de la substance qui a augmenté son poids : ainsi, par exemple, si l'on brûle du soufre sous une cloche, le produit de la combustion est de l'acide vitriolique; si l'on brûle du phosphore, le produit de la combustion est de l'acide phosphorique; si l'on brûle une substance charbonneuse, le produit de la combustion est de l'air fixe, autrement dit, de l'acide crayeux, etc. [1].

La calcination des métaux est soumise exactement à ces mêmes lois, et c'est avec très grande raison que M. Macquer l'a considérée comme une combustion lente : ainsi, 1° dans toute calcination métallique il y a dégagement de matière du feu; 2° il ne peut y avoir de véritable calcination que dans l'air pur; 3° il y a combinaison de l'air avec le corps calciné, mais avec cette différence, qu'au lieu de former un acide avec lui il en résulte une combinaison particulière, connue sous le nom de *chaux métallique*.

Ce n'est point ici le lieu de faire voir l'analogie qui existe entre la respiration des animaux, la combustion et la calcination; j'y reviendrai dans la suite de ce mémoire.

Ces différents phénomènes de la calcination des métaux et de la combustion s'expliquent d'une manière très heu-

1. Je ferai observer ici, en passant, que le nombre des acides est infiniment plus considérable qu'on ne le pense.

reuse dans l'hypothèse de Stahl; mais il faut supposer avec lui qu'il existe de la matière du feu, du phlogistique fixé dans les métaux, dans le soufre et dans tous les corps qu'il regarde comme combustibles : or, si l'on demande aux partisans de la doctrine de Stahl de prouver l'existence de la matière du feu dans les corps combustibles, ils tombent nécessairement dans un cercle vicieux, et sont obligés de répondre que les corps combustibles contiennent de la matière du feu parce qu'ils brûlent, et qu'ils brûlent parce qu'ils contiennent de la matière du feu; or il est aisé de voir qu'en dernière analyse c'est expliquer la combustion par la combustion.

L'existence de la matière du feu, du phlogistique, dans les métaux, dans le soufre, etc., n'est donc réellement qu'une hypothèse, une supposition, qui, une fois admise, explique, il est vrai, quelques-uns des phénomènes de la combustion; mais, si je fais voir que ces mêmes phénomènes peuvent s'expliquer d'une manière tout aussi naturelle dans l'hypothèse opposée, c'est-à-dire sans supposer qu'il existe de matière du feu ni de phlogistique dans les matières *combustibles*, le système de Stahl se trouvera ébranlé jusque dans ses fondements.

On ne manquera pas sans doute de me demander d'abord ce que j'entends par matière du feu. Je répondrai avec Franklin, Boërhaave, et une partie des philosophes de l'antiquité, que la matière du feu ou de la lumière est un fluide très subtil, très élastique, qui environne de toutes parts la planète que nous habitons, qui pénètre avec plus ou moins de facilité les corps qui la composent, et qui tend, lorsqu'il est libre, à se mettre en équilibre dans tous.

J'ajouterai, en empruntant le langage chimique, que ce fluide est le dissolvant d'un grand nombre de corps; qu'il se combine avec eux de la même manière que l'eau se combine avec les sels, que les acides se combinent avec les métaux; et que les corps ainsi combinés et dis-

sous par le fluide igné perdent en partie les propriétés qu'ils avaient avant la combinaison, et en acquièrent de nouvelles qui les rapprochent de la matière du feu.

C'est ainsi, comme je l'ai fait voir dans un mémoire déposé au secrétariat de cette Académie [1], que tout fluide aériforme, toute espèce d'air, est un résultat de la combinaison d'un corps quelconque, solide ou fluide, avec la matière du feu ou de la lumière; et c'est à cette combinaison que les fluides aériformes doivent leur élasticité, leur légèreté spécifique, leur rareté, et toutes les autres propriétés qui les rapprochent du fluide igné.

L'air pur, d'après cela, celui que M. Priestley nomme *air déphlogistiqué*, est une combinaison ignée dans laquelle la matière du feu ou de la lumière entre comme dissolvant, et dans laquelle une autre substance entre comme base; or, si, dans une dissolution quelconque, on présente à la base une substance avec laquelle elle ait plus d'affinité, elle s'y unit à l'instant, et le dissolvant qu'elle a quitté devient libre.

La même chose arrive à l'air pendant la combustion; le corps qui brûle lui ravit sa base; dès lors la matière du feu qui lui servait de dissolvant devient libre, elle reprend tous ses droits, et s'échappe avec les caractères qu'on lui connaît, c'est-à-dire avec flamme, chaleur et lumière.

Pour éclaircir ce que cette théorie peut présenter d'obscur, faisons-en l'application à quelques exemples : lorsqu'on calcine un métal dans de l'air pur, la base de l'air, qui a moins d'affinité avec son propre dissolvant qu'avec le métal, s'unit à ce dernier dès qu'il est fondu, et le convertit en chaux métallique. Cette combinaison de la base de l'air avec le métal est démontrée : 1° par l'augmentation de poids qu'éprouve ce dernier pendant la calcination; 2° par la destruction presque totale de l'air contenu

1. Ce mémoire a été lu depuis, et il se trouve imprimé page 420 des *Mémoires de l'Académie des sciences*.

sous la cloche. Mais, si la base de l'air était tenue en dissolution par la matière du feu, à mesure que cette base se combine au métal, la matière du feu doit devenir libre, et produire, en se dégageant, de la flamme et de la lumière. On conçoit que, plus la calcination du métal sera prompte, c'est-à-dire plus il y aura de fixation de la base de l'air dans un temps donné, plus aussi il y aura de matière du feu qui deviendra libre à la fois, et plus, par conséquent, la combustion sera sensible et marquée.

Ces phénomènes, qui sont extrêmement lents et difficiles à saisir dans la calcination des métaux, sont presque instantanés dans la combustion du soufre et du phosphore. J'ai fait voir, par des expériences contre lesquelles il me paraît difficile de faire aucune objection raisonnable, que, dans ces deux combustions, l'air, ou plutôt la base de l'air, était absorbée; qu'elle se combinait avec le soufre et avec le phosphore pour former l'acide vitriolique ou l'acide phosphorique; mais la base de l'air ne peut passer dans une nouvelle combinaison sans laisser son dissolvant libre, et ce dissolvant, qui est la matière du feu même, doit se dégager avec lumière et avec flamme.

Le charbon et toutes les matières charbonneuses ont la même action sur la base de l'air : elles se l'approprient et forment avec elles, par la combustion, un acide *sui generis*, connu sous le nom d'*air fixe* ou d'*acide crayeux*. Le dissolvant de la base de l'air, la matière du feu, est encore dégagé dans cette opération, mais en moindre quantité que dans la combustion du soufre et du phosphore, parce qu'une portion se combine avec l'acide méphitique, pour le constituer dans l'état de vapeur et d'élasticité dans lequel nous l'obtenons.

J'observerai ici, en passant, que la combustion du charbon, faite dans une cloche renversée dans du mercure, n'occasionne pas une diminution très considérable dans le volume de l'air dans lequel on le fait brûler, lors même qu'on emploie de l'air pur dans l'expérience, par la raison

que l'acide méphitique qui se forme demeure dans l'état aériforme, à la différence de l'acide vitriolique et de l'acide phosphorique, qui se condensent sous forme concrète à mesure qu'ils sont formés.

Je pourrais appliquer successivement la même théorie à toutes les combustions; mais, comme j'aurai de fréquentes occasions de revenir sur cet objet, je m'en tiens, dans ce moment, à ces exemples généraux. Ainsi, pour résumer, l'air est composé, suivant moi, de la matière du feu comme dissolvant, combinée avec une substance qui lui sert de base et en quelque façon qui la neutralise; toutes les fois qu'on présente à cette base une substance avec laquelle elle a plus d'affinité, elle quitte son dissolvant; dès lors la matière du feu reprend ses droits, ses propriétés, et reparaît à nos yeux avec chaleur, flamme et lumière.

L'air pur, l'air déphlogistiqué de M. Priestley est donc, dans cette opinion, le véritable corps combustible, et peut-être le seul de la nature, et on voit qu'il n'est plus besoin, pour expliquer les phénomènes de la combustion, de supposer qu'il existe une quantité immense de feu fixée dans tous les corps que nous nommons *combustibles*, qu'il est très probable, au contraire, qu'il en existe peu dans les métaux, dans le soufre, dans le phosphore et dans la plupart des corps très solides, très pesants et très compacts; et peut-être même qu'il n'existe dans ces substances que de la matière de feu libre, en vertu de la propriété qu'a cette matière de se mettre en équilibre avec tous les corps environnants.

Une autre réflexion frappante, qui vient encore à l'appui des précédentes, c'est que presque tous les corps peuvent exister dans trois états différents : ou sous forme solide, ou sous forme liquide, c'est-à-dire fondus, ou dans l'état d'air et de vapeur. Ces trois états ne dépendent que de la quantité plus ou moins grande de matière de feu dont ces corps sont pénétrés et avec laquelle ils sont combinés. La

fluidité, la vaporisation, l'élasticité, sont donc les propriétés caractéristiques de la présence du feu et d'une grande abondance de feu; la solidité, la compacité, au contraire, sont les preuves de son absence. Autant donc il est prouvé que les substances aériformes, et l'air lui-même contiennent une grande quantité de feu combiné, autant il est probable que les corps solides en contiennent peu.

Je sortirais des bornes que je me suis prescrites et que les circonstances exigent, si j'entreprenais de faire voir combien cette théorie jette de jour sur tous les grands phénomènes de la nature; je ne puis cependant me dispenser de faire encore remarquer avec quelle facilité elle explique pourquoi l'air est un fluide élastique et rare. En effet, le feu étant le plus subtil, le plus élastique et le plus rare de tous les fluides, il doit communiquer une partie de ses propriétés aux substances auxquelles il s'unit, et, de même que les dissolutions des sels par l'eau conservent toujours une partie des propriétés aqueuses, de même aussi les dissolutions par le feu doivent conserver une partie des propriétés ignées.

On conçoit encore pourquoi il ne peut y avoir de combustion, ni dans le vide, ni même dans aucune combinaison aériforme où la matière du feu a une très grande affinité avec la base avec laquelle elle est combinée.

On n'est point obligé non plus, dans ces principes, d'admettre de la matière du feu fixée et combinée en une immense quantité jusque dans le diamant même, et dans un grand nombre de substances qui n'ont aucune qualité analogue à celle de la matière du feu, et qui en présentent même d'incompatibles; enfin, on n'est point obligé de soutenir, comme le fait Stahl, que des corps qui augmentent de poids perdent une partie de leur substance.

J'ai annoncé plus haut que la théorie exposée dans ce mémoire pouvait s'appliquer à l'explication d'une partie

des phénomènes de la respiration, et c'est par où je terminerai cet essai.

J'ai fait voir, dans le mémoire que j'ai lu à la séance publique de Pâques dernier, que l'air pur, après être entré dans le poumon, en ressortait en partie dans l'état d'air fixe ou d'acide crayeux. L'air pur, en passant par le poumon, éprouve donc une décomposition analogue à celle qui a lieu dans la combustion du charbon; or, dans la combustion du charbon, il y a dégagement de matière du feu; donc il doit y avoir également dégagement de matière du feu dans le poumon dans l'intervalle de l'inspiration à l'expiration, et c'est cette matière du feu sans doute qui, se distribuant avec le sang dans toute l'économie animale, y entretient une chaleur constante de 32 degrés 1/2 environ, au thermomètre de M. de Réaumur. Cette idée paraîtra peut-être hasardée au premier coup d'œil, mais, avant de la rejeter ou de la condamner, je prie de considérer qu'elle est appuyée sur deux faits constants et incontestables, savoir : sur la décomposition de l'air dans le poumon et sur le dégagement de matière du feu qui accompagne toute décomposition d'air pur, c'est-à-dire tout passage de l'air pur à l'état d'air fixe. Mais ce qui confirme encore que la chaleur des animaux tient à la décomposition de l'air dans le poumon, c'est qu'il n'y a d'animaux chauds dans la nature que ceux qui respirent *habituellement*, et que cette chaleur est d'autant plus grande que la respiration est plus fréquente, c'est-à-dire qu'il y a une relation constante entre la chaleur de l'animal et la quantité d'air entrée ou au moins convertie en air fixe dans ses poumons.

Au reste, je le répète, en attaquant ici la doctrine de Stahl, je n'ai pas pour objet d'y substituer une théorie rigoureusement démontrée, mais seulement une hypothèse qui me semble plus probable, plus conforme aux lois de la nature, qui me paraît renfermer des explications moins forcées et moins de contradictions.

Les circonstances ne m'ont permis de donner ici que l'ensemble du système et un aperçu des conséquences; mais je me propose de reprendre successivement chaque partie, d'en donner le développement dans différents mémoires, et j'ose assurer d'avance que l'hypothèse que je propose explique d'une manière très heureuse et très simple les principaux phénomènes de la physique et de la chimie. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. II, p. 225.)

Lavoisier complète ces vues dans un mémoire présenté la même année, 5 septembre 1777, et intitulé : *Considérations générales sur la nature des acides*. C'est dans ce mémoire qu'il désigne pour la première fois l'air vital, l'air déphlogistiqué de Priestley sous le nom de *principe acidifiant* ou *principe oxygine*. Après avoir rappelé que ce principe *oxygine* combiné avec les substances charbonneuses ou le charbon forme l'*acide crayeux* ou *air fixe*, avec le soufre l'*acide vitriolique*, avec l'acide nitreux l'*acide du nitre* (azotique), avec le phosphore l'*acide phosphorique*, avec les substances métalliques en général, des *chaux métalliques*, il étudie spécialement l'action de l'acide nitreux sur le sucre et il conclut :

1° Qu'en général lorsque le principe acidifiant ou oxygine se combine avec un corps quelconque sans le décomposer (si on en excepte cependant le plus grand nombre des substances métalliques), il le convertit en un acide particulier qui, indépendamment des caractères généraux, communs à tous les acides, en a qui lui sont propres; 2° qu'à l'égard des substances métalliques, il forme, avec la plupart, des composés connus sous le nom de *chaux métalliques*. J'ajouterai cependant ici, que, même dans cette classe de substances, il en est quelques-unes, comme l'arsenic, le fer et peut-être plusieurs autres qui, combinés avec le principe acidifiant ou oxygine, jusqu'à un certain degré de surabondance, prennent non seulement un caractère salin, mais encore acquièrent les propriétés communes aux acides et deviennent comme eux de véritables dissolvants.

Dans ce mémoire, on le voit, outre la confirmation et le groupement des faits déjà connus, nouveau pas en avant; premières vues exactes sur la composition des matières organiques et sur la manière de les analyser.

Lavoisier, après avoir formulé sa théorie et montré l'inanité du phlogistique, va rester plusieurs années sans en parler. Il fuit les polémiques par caractère et par méthode. Il veut seulement faire voir qu'on peut se dispenser d'admettre l'existence du phlogistique dans l'explication des phénomènes chimiques, et il continue à accumuler les faits, laissant le temps faire son œuvre. Il étudie donc l'acide phosphorique et ses combinaisons métalliques [1]; il montre qu'il est possible de le former sans combustion en chauffant le phosphore avec un corps riche en oxygène et y tenant peu; l'acide nitreux (azotique) lui paraît réunir toutes ces conditions, et en effet, en chauffant du phosphore dans l'acide nitreux, il obtient de l'acide phosphorique identique à celui fourni par la combustion du phosphore.

Il applique la même méthode dans un mémoire *sur la formation de l'acide nommé air fixe ou acide crayeux et que je désignerai désormais sous le nom d'acide du charbon ou acide charbonneux*. Il fait brûler d'abord du charbon dans l'air vital pur; puis il forme l'acide carbonique en réduisant par le charbon l'eau et les substances métalliques. Chaque expérience est accompagnée de mesures, soit en volume, soit en poids, soigneusement discutées.

Ces expériences multipliées, dit-il (*Œuvres*, II, 422), ne laissent aucun doute sur la nature de l'acide charbonneux; je me crois autorisé à le définir un corps incombustible, un acide qui est naturellement dans l'état aériforme, au degré de chaleur ou de pression dans lequel nous vivons, et qu'il est composé de 28 parties de matière charbonneuse et de 72 de principe oxygine.

On sait aujourd'hui que c'est 27.2 de charbon et 72.8 d'oxygène, c'est-à-dire que les méthodes modernes, si per-

1. *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1780. — *Œuvres*, t. II, p. 271 et 277.

fectionnées, ont à peine modifié les chiffres de Lavoisier; et M. Dumas a pu dire de ce mémoire dans sa *Philosophie chimique* (p. 154) :

Nous voyons avec une surprise sans égale, qu'à cette époque où l'art de l'analyse naissait à peine, en combinant ensemble les divers procédés et les corrigeant l'un par l'autre, Lavoisier arrive à connaître si bien la composition de l'acide carbonique, qu'on n'y a rien changé depuis. Ce mémoire est certainement un des plus beaux qu'il ait laissés, un de ceux où l'on voit le mieux son exactitude extrême comme expérimentateur et où l'on peut juger le mieux de sa singulière sagacité dans l'art de combiner les expériences.

Réflexions sur le phlogistique

Pour servir de suite à la théorie de la combustion et de la calcination, publiée en 1777 [1].

Dans la suite des mémoires que j'ai communiqués à l'Académie, j'ai passé en revue les principaux phénomènes de la chimie; j'ai insisté sur ceux qui accompagnent la combustion, la calcination des métaux, et, en général, toutes les opérations où il y a absorption et fixation d'air. J'ai déduit toutes les explications d'un principe simple, c'est que l'air pur, l'air vital, est composé d'un principe particulier qui lui est propre, qui en forme la base, et que j'ai nommé *principe oxygine*, combiné avec la matière du feu et de la chaleur. Ce principe une fois admis, les principales difficultés de la chimie ont paru s'évanouir et se dissiper, et tous les phénomènes se sont expliqués avec une étonnante simplicité.

Mais si tout s'explique en chimie d'une manière satis-

1. *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1783, p. 505.

faisante sans le secours du phlogistique, il est par cela seul infiniment probable que ce principe n'existe pas; que c'est un être hypothétique, une supposition gratuite; et, en effet, il est dans les principes d'une bonne logique de ne point multiplier les êtres sans nécessité. Peut-être aurais-je pu m'en tenir à ces preuves négatives, et me contenter d'avoir prouvé qu'on rend mieux compte des phénomènes sans phlogistique qu'avec le phlogistique; mais il est temps que je m'explique d'une manière plus précise et plus formelle sur une opinion que je regarde comme une erreur funeste à la chimie, et qui me paraît en avoir retardé considérablement les progrès par la mauvaise manière de philosopher qu'elle y a introduite.

Je prie mes lecteurs, en commençant ce mémoire, de se dépouiller, autant qu'il sera possible, de tout préjugé; de ne voir dans les faits que ce qu'ils présentent, d'en bannir tout ce que le raisonnement y a supposé, de se transporter aux temps antérieurs à Stahl, et d'oublier pour un moment, s'il est possible, que sa théorie a existé.

A l'époque où Stahl a écrit, les principaux phénomènes de la combustion étaient encore ignorés. Il n'a connu de cette opération que ce qui frappe les sens, le dégagement de la chaleur et de la lumière. De ce que quelques corps brûlaient et s'enflammaient, il en a conclu qu'il existait en eux un principe inflammable, du feu fixé; mais, comme il était difficile de concilier la fixité qu'on observe dans quelques corps combustibles avec la mobilité, la subtilité qui paraît caractériser l'élément du feu, il a supposé qu'un principe terreux servait d'intermède pour unir le feu aux corps combustibles, et il a appelé *principe inflammatoire* ou *phlogistique* le résultat de cette combinaison. Telle est au moins la manière dont M. Macquer a présenté la doctrine de Stahl dans son Dictionnaire de chimie. Il est vrai que le chimiste allemand ne l'a pas toujours exposée dans ce degré de simplicité; qu'il a

souvent regardé, avec le P. Becher, le phlogistique comme un élément purement terreux; mais j'ai pensé qu'il était inutile de le suivre dans les différentes opinions qu'il a successivement embrassées, et que je pourrais m'en tenir à la doctrine de Stahl, telle qu'elle a été conçue et présentée par M. Macquer. Si Stahl se fût borné à cette simple observation, son système ne lui aurait pas mérité sans doute la gloire de devenir un des patriarches de la chimie, et de faire une sorte de révolution dans la science. Rien n'était plus naturel, en effet, que de dire que les corps combustibles s'enflamment parce qu'ils contiennent un principe inflammable; mais on doit à Stahl deux découvertes importantes, indépendantes de tout système, de toute hypothèse, qui seront des vérités éternelles : premièrement, c'est que les métaux sont des corps combustibles, que la calcination est une véritable combustion, et qu'elle en présente tous les phénomènes. Ce fait constant, que Stahl paraît avoir reconnu le premier, et qui est aujourd'hui généralement avoué de tout le monde, le mettait dans la nécessité d'admettre un principe inflammable dans les métaux; et, en effet, si la combustion est due au dégagement d'un principe inflammable qui était fixé dans les corps, de ce que les métaux sont combustibles, il s'ensuivait nécessairement que ces substances contiennent un principe inflammable.

La seconde découverte dont on est redevable à Stahl, et qui est plus importante encore, c'est que la propriété de brûler, d'être inflammable, peut se transmettre d'un corps à un autre : si l'on mêle, par exemple, du charbon, qui est combustible, avec de l'acide vitriolique, qui ne l'est pas, l'acide vitriolique se convertit en soufre; il acquiert la propriété de brûler, tandis que le charbon la perd. Il en est de même des substances métalliques : elles perdent par la calcination leur qualité combustible; mais, si on les met en contact avec du charbon, et,

en général, avec des corps qui aient la propriété de brûler, elles se revivifient, c'est-à-dire qu'elles reprennent, aux dépens de ces substances, la propriété d'être combustibles. Stahl a conclu de ces faits que le phlogistique, le principe inflammable, pouvait passer d'un corps dans un autre, et qu'il obéissait à de certaines lois, auxquelles on a donné depuis le nom d'affinité.

Suivant Stahl, le phlogistique, le principe inflammable, est un corps pesant; et, en effet, on ne peut pas se former une autre idée d'un principe terreux, ou au moins dans la composition duquel entre l'élément terreux; il a même essayé, dans son traité du soufre, d'en déterminer la pesanteur.

Cette théorie de Stahl sur la calcination des métaux et sur la combustion en général ne rendait pas compte d'un phénomène très anciennement observé, vérifié par Boyle, et qui est devenu aujourd'hui une vérité incontestable, c'est que tous les corps combustibles augmentent de poids pendant le temps qu'ils brûlent et se calcinent; c'est ce qu'on observe surtout d'une manière frappante dans les métaux, dans le soufre, dans le phosphore, etc. Or, dans le système de Stahl, il s'échappe des métaux, pendant qu'on les calcine, et des corps combustibles qui brûlent, du phlogistique qui est un principe pesant; ils doivent donc perdre une quantité de leur poids au lieu d'en acquérir. (LAVOISIER, *Œuvres*, t. II, p. 623.)

Premier mémoire sur la respiration des animaux [1].

La respiration est une des fonctions les plus importantes de l'économie animale, et, en général, elle ne peut être quelque temps suspendue sans que la mort en soit une suite inévitable. Cependant, jusqu'à ces derniers temps, on a complètement ignoré quel est son usage, quels sont

1. Seguin et Lavoisier, *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1789, p. 185.

ses effets; et tout ce qui est relatif à la respiration était au nombre de ces secrets que la nature semblait s'être réservés.

Le retard de nos connaissances sur un objet aussi important tient à ce qu'il existe un enchaînement nécessaire dans la suite de nos idées, un ordre indispensable dans la marche de l'esprit humain; à ce qu'il était impossible de rien savoir sur ce qui se passe dans la respiration avant d'avoir reconnu :

1° Que le calorique (matière de chaleur) est un principe constitutif des fluides [1], et que c'est à ce principe qu'ils doivent leur état d'expansibilité, leur élasticité, et plusieurs autres des propriétés que nous leur connaissons;

2° Que l'air de l'atmosphère est un composé de deux fluides aériformes, savoir, d'un quart environ d'air vital, et de trois quarts de gaz azote;

3° Que la base de l'air vital, l'oxygène, est un principe commun à tous les acides, et que c'est lui qui constitue leur acidité;

4° Que le gaz acide carbonique (air fixe) est le résultat de la combinaison d'environ 72 parties en poids d'oxygène et de 28 parties de carbone (charbon pur);

5° Qu'il entre moins de calorique dans la composition d'un volume donné de gaz acide carbonique que dans un pareil volume d'air vital, et que c'est par cette raison qu'il se dégage du calorique pendant la combustion du carbone, c'est-à-dire pendant la conversion de l'air vital en acide carbonique par l'addition du carbone;

6° Enfin, que l'eau n'est point un élément, n'est point une substance simple, comme le croyaient les anciens, mais qu'elle est composée de 14 338 parties d'oxygène et de 85 668 d'hydrogène [2].

1. Sous ce nom générique nous comprenons les *airs* et les *gaz*.

2. Nous nous servons ici du résultat indiqué par MM. Fourcroy, Seguin et Vauquelin, parce qu'il dérive d'une des expériences les plus exactes qui aient été faites en chimie.

M. Lavoisier, l'un de nous, a établi toutes ces vérités dans une suite de mémoires qui font partie du Recueil de l'Académie, et maintenant que ces vérités ont reçu la sanction du temps, qu'elles se trouvent confirmées par l'assentiment de presque tous les physiciens et chimistes de l'Europe, nous pouvons dire avec confiance qu'il n'en existe pas, en chimie, qui soient fondées sur des preuves plus évidentes....

Dans la respiration, comme dans la combustion, c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et le calorique; mais, comme dans la respiration c'est la substance même de l'animal, c'est le sang qui fournit le combustible, si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait, comme une lampe s'éteint lorsqu'elle manque de nourriture.

Les preuves de cette identité d'effets entre la respiration et la combustion se déduisent immédiatement de l'expérience. En effet, l'air qui a servi à la respiration ne contient plus, à la sortie du poumon, la même quantité d'oxygène; il renferme non seulement du gaz acide carbonique, mais encore beaucoup plus d'eau qu'il n'en contenait avant l'inspiration. Or, comme l'air vital ne peut se convertir en acide carbonique que par une addition de carbone; qu'il ne peut se convertir en eau que par une addition d'hydrogène; que cette double combinaison ne peut s'opérer sans que l'air vital perde une partie de son calorique spécifique, il en résulte que l'effet de la respiration est d'extraire du sang une portion de carbone et d'hydrogène, et d'y déposer à la place une portion de son calorique spécifique, qui, pendant la circulation, se distribue avec le sang dans toutes les parties de l'économie animale, et entretient cette température à peu près constante qu'on observe dans tous les animaux qui respirent.

On dirait que cette analogie qui existe entre la combustion et la respiration n'avait point échappé aux poètes,

ou plutôt aux philosophes de l'antiquité, dont ils étaient les interprètes et les organes. Ce feu dérobé du ciel, ce flambeau de Prométhée, ne présente pas seulement une idée ingénieuse et poétique, c'est la peinture fidèle des opérations de la nature, du moins pour les animaux qui respirent : on peut donc dire, avec les anciens, que le flambeau de la vie s'allume au moment où l'enfant respire pour la première fois, et qu'il ne s'éteint qu'à sa mort.

En considérant des rapports si heureux, on serait quelquefois tenté de croire qu'en effet les anciens avaient pénétré plus avant que nous ne le pensons dans le sanctuaire des connaissances, et que la fable n'est véritablement qu'une allégorie, sous laquelle ils cachaient les grandes vérités de la médecine et de la physique....

Tant que nous n'avons considéré dans la respiration que la seule consommation de l'air, le sort du riche et celui du pauvre était le même; car l'air appartient également à tous et ne coûte rien à personne; l'homme de peine qui travaille davantage jouit même plus complètement de ce bienfait de la nature. Mais maintenant que l'expérience nous apprend que la respiration est une véritable combustion, qui consume à chaque instant une portion de la substance de l'individu; que cette consommation est d'autant plus grande que la circulation et la respiration sont plus accélérées, qu'elle augmente à proportion que l'individu mène une vie plus laborieuse et plus active, une foule de considérations morales naissent comme d'elles-mêmes de ces résultats de la physique.

Par quelle fatalité arrive-t-il que l'homme pauvre, qui vit du travail de ses bras, qui est obligé de déployer pour sa subsistance tout ce que la nature lui a donné de forces, consomme plus que l'homme oisif, tandis que ce dernier a moins besoin de réparer? Pourquoi, par un contraste choquant, l'homme riche jouit-il d'une abondance qui ne lui est pas physiquement nécessaire et qui semblait destinée pour l'homme laborieux? Gardons-nous cependant

de calomnier la nature, et de l'accuser des fautes qui tiennent sans doute à nos institutions sociales et qui peut-être en sont inséparables. Contentons-nous de bénir la philosophie et l'humanité, qui se réunissent pour nous promettre des institutions sages, qui tendront à rapprocher les fortunes de l'égalité, à augmenter le prix du travail, à lui assurer sa juste récompense, à présenter à toutes les classes de la société, et surtout aux classes indigentes, plus de jouissances et plus de bonheur. Faisons des vœux surtout pour que l'enthousiasme et l'exagération qui s'emparent si facilement des hommes réunis en assemblées nombreuses, pour que les passions humaines qui entraînent la multitude si souvent contre son propre intérêt, et qui comprennent dans leur tourbillon le sage et le philosophe comme les autres hommes, ne renversent pas un ouvrage entrepris dans de si belles vues, et ne détruisent pas l'espérance de la patrie.

L'ordre physique, assujetti à des lois immuables, arrivé dès longtemps à un état d'équilibre que rien ne peut déranger, n'est point sujet à ces mouvements tumultueux que présente quelquefois l'ordre moral. C'est une chose vraiment admirable que ce résultat de forces continuellement en équilibre qui s'observent à chaque pas dans l'économie animale, et qui permettent à l'individu de se prêter à toutes les circonstances où le hasard le place. L'homme, à cet égard, a été plus favorisé par la nature qu'aucun des autres animaux; il vit également dans toutes les températures et dans tous les climats : son tempérament se prête au mouvement et au repos, à l'abstinence comme aux excès de nourriture; presque tous les aliments lui sont bons, soit qu'ils soient succulents, soit qu'ils ne le soient pas; soit qu'ils appartiennent à un règne ou à un autre. Se trouve-t-il dans un climat froid? d'un côté, l'air étant plus dense, il s'en décompose une plus grande quantité dans le poumon; plus de calorique se dégage et va réparer la perte qu'occasionne le refroi-

dissement extérieur. D'un autre côté, la transpiration diminue; il se fait moins d'évaporation, donc moins de refroidissement. Le même individu passe-t-il dans une température beaucoup plus chaude? l'air est plus raréfié, il ne s'en décompose plus une aussi grande quantité, moins de calorique se dégage dans le poumon, une transpiration abondante qui s'établit enlève tout l'excédent de calorique que fournit la respiration; et c'est ainsi que s'établit cette température à peu près constante de 32° (*thermomètre de Réaumur*), que plusieurs quadrupèdes, et que l'homme particulièrement, conservent dans quelque circonstance qu'ils se trouvent.

Il existe de semblables compensations, qui permettent à l'homme de passer successivement, suivant ses besoins et sa volonté, d'une vie active à une vie tranquille. Se tient-il dans un état d'inaction et de repos? la circulation est lente, ainsi que la respiration; il consomme moins d'air; il exhale par le poumon moins de carbone et d'hydrogène, et conséquemment il a besoin de moins de nourriture.

Est-il obligé de se livrer à des travaux pénibles? la respiration s'accélère; il consomme plus d'air, il perd plus d'hydrogène et de carbone, et, conséquemment, il a besoin de réparer plus souvent et davantage par la nutrition.

En rapprochant ces réflexions des résultats qui les ont précédées, on voit que la machine animale est principalement gouvernée par trois régulateurs principaux : la respiration, qui consomme de l'hydrogène et du carbone et qui fournit du calorique; la transpiration, qui augmente ou qui diminue, suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calorique; enfin la digestion, qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration.

.... Nous terminerons ce mémoire par une réflexion consolante. Il n'est pas indispensable, pour bien mériter de l'humanité et pour payer son tribut à la patrie, d'être

appelé à ces fonctions publiques et éclatantes qui concourent à l'organisation et à la régénération des empires. Le physicien peut aussi, dans le silence de son laboratoire et de son cabinet, exercer des fonctions patriotiques; il peut espérer, par ses travaux, de diminuer la masse des maux qui affligent l'espèce humaine; d'augmenter ses jouissances et son bonheur, et n'eût-il contribué, par les routes nouvelles qu'il s'est ouvertes, qu'à prolonger de quelques années, de quelques jours même, la vie moyenne des hommes, il pourrait aspirer aussi au titre glorieux de bienfaiteur de l'humanité. (Lavoisier, *Œuvres*, t. II, p. 688.)

Mémoire dans lequel on a pour objet de prouver que l'eau n'est point une substance simple, un élément proprement dit, mais qu'elle est susceptible de décomposition et de recomposition [1].

Y a-t-il plusieurs espèces d'airs inflammables? ou bien celui que nous obtenons est-il toujours le même, plus ou moins mélangé, plus ou moins altéré par l'union de différentes substances qu'il est susceptible de dissoudre? C'est une question que je n'entreprendrai pas de résoudre dans ce moment; il me suffira de dire que l'air inflammable dont j'entends parler dans ce mémoire est celui qu'on obtient, soit de la décomposition de l'eau par le fer seul, soit de la dissolution du fer et du zinc dans les acides vitriolique et marin; que, comme il paraît prouvé que, dans tous les cas, cet air vient originairement de l'eau, je l'appellerai, lorsqu'il se présentera dans l'état aériforme, *air inflammable aqueux*, et, lorsqu'il sera engagé

1. Ce mémoire a été lu à la rentrée publique de la Saint-Martin 1783; depuis, on y a fait quelques additions relatives au travail fait en commun avec M. Meusnier, sur le même objet. (*Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1781, p. 468.)

dans quelque combinaison, *principe inflammable aqueux.* La suite de ce mémoire éclaircira ce que ce premier énoncé peut présenter d'obscur. Cet air pèse douze fois et demie moins que l'air commun, lorsqu'il est porté au dernier degré de pureté dont il est susceptible; c'est au moins ce qui résulte des expériences que nous avons faites en commun, M. Meusnier et moi, et qui sont imprimées dans ce volume; mais il est souvent mêlé d'air fixe ou acide charbonneux, dont il est difficile de séparer les dernières portions; plus souvent encore il tient de la substance charbonneuse en dissolution, et sa pesanteur spécifique en est considérablement augmentée.

Si on brûle ensemble sous une cloche de verre, au moyen des caisses pneumatiques que j'ai décrites dans un mémoire particulier, un peu moins de deux parties d'air inflammable aqueux, contre une d'air vital, en supposant que l'un et l'autre soient parfaitement purs, la totalité des deux airs est absorbée, et l'on trouve, à la surface du mercure sur lequel se fait cette expérience, une quantité d'eau égale en poids à celui des deux airs qu'on a employés : je suppose, comme je l'ai dit, que les deux airs soient parfaitement purs (et c'est une condition, il est vrai, difficile à obtenir); mais, dans le cas de mélange, il y a un résidu plus ou moins considérable, et il y a, dans le poids de l'eau qui s'est formée, un *déficit* égal à celui de ce résidu.

L'eau qu'on obtient par ce procédé est parfaitement pure et dans l'état d'eau distillée; quelquefois elle est imprégnée d'une légère portion d'air fixe, et c'est une preuve alors, ou que l'air inflammable aqueux tenait de la substance charbonneuse en dissolution, ou que l'un des deux airs était mélangé d'air fixe.

Tel est, en général, le résultat de la combustion de l'air vital et de l'air inflammable; mais comme on a voulu élever quelque doute sur l'antériorité de cette découverte, je me crois obligé d'entrer dans quelques détails sur la

suite des expériences qui m'y ont conduit. Les premières tentatives qui aient été faites pour déterminer la nature du résultat de la combustion de l'air inflammable remontent à 1776 ou 1777. A cette époque, M. Macquer ayant présenté une soucoupe de porcelaine blanche à la flamme de l'air inflammable qui brûlait tranquillement à l'orifice d'une bouteille, il observa que cette flamme n'était accompagnée d'aucune fumée fuligineuse; il trouva seulement la soucoupe mouillée de gouttelettes assez sensibles d'une liqueur blanche comme de l'eau, et qu'il a reconnue, ainsi que M. Sigaud de la Fond, qui assistait à cette expérience, pour de l'eau pure. (Voir *Dictionnaire de Chimie*, seconde édition, article GAZ INFLAMMABLE.) Je n'eus pas connaissance alors de l'expérience de M. Macquer, et j'étais dans l'opinion que l'air inflammable, en brûlant, devait donner de l'acide vitriolique ou de l'acide sulfureux. M. Bucquet, au contraire, pensait qu'il en devait résulter de l'air fixe. Pour éclaircir nos doutes, nous remplîmes, au mois de septembre 1777, M. Bucquet et moi, d'air inflammable obtenu par la dissolution du fer dans l'acide vitriolique, une bouteille de cinq à six pintes; nous la retournâmes, l'ouverture en haut, et, pendant que l'un de nous allumait l'air avec une bougie à l'orifice de la bouteille, l'autre y versa très promptement, à travers la flamme même, deux onces d'eau de chaux; l'air brûla d'abord paisiblement à l'ouverture du goulot, qui était fort large; ensuite la flamme descendit dans l'intérieur de la bouteille, et elle s'y conserva encore quelques instants. Pendant tout le temps que la combustion dura, nous ne cessâmes d'agiter l'eau de chaux et de la promener dans la bouteille, afin de la mettre, le plus qu'il serait possible, en contact avec la flamme; mais la chaux ne fut point précipitée; l'eau de chaux ne fit que louchir très légèrement, en sorte que nous reconnûmes évidemment que le résultat de la combustion de l'air inflammable et de l'air atmosphérique n'était point de l'air fixe.

Cette expérience, qui détruisait l'opinion de M. Bucquet, ne suffisait pas pour établir la mienne : j'étais, en conséquence, curieux de la répéter et d'en varier les circonstances, de manière à la confirmer ou à la détruire. Ce fut dans l'hiver de 1781 à 1782 que je m'en occupai, et M. Gingembre, déjà connu de l'Académie, voulut bien être mon coopérateur pour une expérience qu'il m'était impossible de faire seul. Nous prîmes une bouteille de six pintes, que nous remplîmes d'air inflammable; nous l'allumâmes très promptement, et nous y versâmes en même temps deux onces d'eau de chaux; aussitôt nous bouchâmes la bouteille avec un bouchon de liège, traversé d'un tube de cuivre terminé en pointe, et qui correspondait, par un tuyau flexible, avec une caisse pneumatique remplie d'air vital. Le bouchon ayant interrompu le contact de l'air inflammable et de l'air de l'atmosphère, la surface de l'air inflammable cessa de brûler, mais il se forma à l'extrémité du tube de cuivre, dans l'intérieur de la bouteille, un beau dard de flamme très brillant, et nous vîmes avec beaucoup de plaisir l'air vital brûler dans l'air inflammable, de la même manière et avec les mêmes circonstances que l'air inflammable brûle dans l'air vital. Nous continuâmes assez longtemps cette combustion, en agitant l'eau de chaux et en la promenant dans la bouteille sans qu'elle donnât la moindre apparence de précipitation; enfin une légère détonation qui se fit, et que nous attribuâmes à quelque portion d'air commun qui sans doute était rentré, éteignit la flamme et mit fin à l'expérience.

Nous répétâmes deux fois cette expérience, en substituant à l'eau de chaux, dans l'une, de l'eau distillée, dans l'autre, de l'alcali affaibli; l'eau, après la combustion, se trouva aussi pure qu'auparavant; elle ne donnait aucun signe d'acidité, et la liqueur alcaline était précisément dans le même état qu'elle était avant l'expérience.

Ces résultats me surprirent d'autant plus, que j'avais antérieurement reconnu que, dans toute combustion, il se

formait un acide, que cet acide était l'acide vitriolique, si l'on brûlait du soufre, l'acide phosphorique, si l'on brûlait du phosphore, l'air fixe, si l'on brûlait du charbon; et que l'analogie m'avait porté invinciblement à conclure que la combustion de l'air inflammable devait également produire un acide.

Cependant rien ne s'anéantit dans les expériences; la seule matière du feu, de la chaleur et de la lumière, a la propriété de passer à travers les pores des vaisseaux; les deux airs, qui sont des corps pesants, ne pouvaient donc avoir disparu, ils ne pouvaient être anéantis : de là la nécessité de faire les expériences avec plus d'exactitude et plus en grand. Je fis construire en conséquence une seconde caisse pneumatique, afin que, l'une fournissant l'air inflammable, l'autre l'air vital, on pût continuer plus longtemps la combustion; au lieu d'un simple ajutoir de cuivre, j'en fis faire un double destiné à conduire les deux airs; des robinets, adaptés à chacun, donnaient la facilité de ménager à volonté les quantités d'airs : ces deux ajutages, ou plutôt ce double ajutage, car il n'en formait qu'un à deux tuyaux, s'appliquait à frottement à la tubulure supérieure de la cloche où devait se faire l'expérience; il avait été usé dessus de la même manière qu'on use un bouchon de cristal pour l'ajuster à un flacon.

Ce fut le 24 juin 1783 que nous fîmes cette expérience, M. de Laplace et moi, en présence de MM. Le Roi, de Vandermonde, de plusieurs autres académiciens, et de M. Blagden, aujourd'hui secrétaire de la Société Royale de Londres; ce dernier nous apprit que M. Cavendish avait déjà essayé, à Londres, de brûler de l'air inflammable dans des vaisseaux fermés, et qu'il avait obtenu une quantité d'eau très sensible.

Nous commençâmes d'abord à chercher, par voie de tâtonnement, quelle devait être l'ouverture de nos robinets pour fournir la juste proportion des deux airs; nous y parvînmes aisément en observant la couleur et l'éclat du

dard de flamme qui se formait au bout de l'ajutoir; la juste proportion des deux airs donnait la flamme la plus lumineuse et la plus belle. Ce premier point trouvé, nous introduisîmes l'ajutoir dans la tubulure de la cloche, laquelle était plongée sur du mercure, et nous laissâmes brûler les airs jusqu'à ce que nous eussions épuisé la provision que nous en avions faite : dès les premiers instants, nous vîmes les parois de la cloche s'obscurcir et se couvrir de vapeurs; bientôt elles se rassemblèrent en gouttes, et ruisselèrent de toutes parts sur le mercure, et, en quinze ou vingt minutes, sa surface s'en trouva couverte. L'embarras était de rassembler cette eau; mais nous y parvînmes aisément en passant une assiette sous la cloche sans la sortir du mercure, et en versant ensuite l'eau et le mercure dans un entonnoir de verre : en laissant ensuite couler le mercure, l'eau se trouva réunie dans le tube de l'entonnoir; elle pesait un peu moins de 5 gros.

Cette eau, soumise à toutes les épreuves qu'on put imaginer, parut aussi pure que l'eau distillée : elle ne rougissait nullement la teinture de tournesol; elle ne verdissait pas le sirop de violettes; elle ne précipitait pas l'eau de chaux; par tous les réactifs connus, on ne put y découvrir le moindre indice de mélange.

Comme les deux airs étaient conduits des caisses pneumatiques à la cloche par des tuyaux flexibles de cuir, et qu'ils n'étaient pas absolument imperméables à l'air, il ne nous a pas été possible de nous assurer de la quantité exacte des deux airs dont nous avions ainsi opéré la combustion; mais, comme il n'est pas moins vrai en physique qu'en géométrie que le tout est égal à ses parties, de ce que nous n'avions obtenu que de l'eau pure dans cette expérience, sans aucun autre résidu, nous nous sommes crus en droit d'en conclure que le poids de cette eau était égal à celui des deux airs qui avaient servi à la former. On ne pourrait faire qu'une objection raisonnable contre cette conclusion : en admettant que l'eau qui s'était formée

était égale en poids aux deux airs, c'était supposer que la matière de la chaleur et de la lumière qui se dégage en grande abondance dans cette opération, et qui passe à travers les pores des vaisseaux, n'avait pas de pesanteur : or on pouvait regarder cette supposition comme gratuite. Je me suis donc trouvé engagé dans cette question importante, savoir si la matière de la chaleur et de la lumière a une pesanteur sensible et appréciable dans les expériences physiques, et j'ai été déterminé pour la négative, d'après des faits qui me paraissent très concluants, et que j'ai exposés dans un mémoire déposé depuis plusieurs mois au secrétariat de l'Académie.

Comme l'expérience dont je viens de donner les détails avait acquis beaucoup de publicité, nous en rendîmes compte dès le lendemain 25 à l'Académie, et nous ne balançâmes pas à en conclure que l'eau n'est point une substance simple, et qu'elle est composée poids pour poids d'air inflammable et d'air vital.

Nous ignorions alors que M. Monge s'occupât du même objet, et nous ne l'apprîmes que quelques jours après par une lettre qu'il adressa à M. Vandermonde, et que ce dernier lut à l'Académie; il y rendait compte d'une expérience du même genre, et qui lui a donné un résultat tout semblable. L'appareil de M. Monge est extrêmement ingénieux : il a apporté infiniment de soin à déterminer la pesanteur spécifique des deux airs; il a opéré sans perte, de sorte que son expérience est beaucoup plus concluante encore que la nôtre, et ne laisse rien à désirer : le résultat qu'il a obtenu a été de l'eau pure, dont le poids s'est trouvé, à très peu de chose près, égal à celui des deux airs.

En rapprochant le résultat de ces premières expériences de ceux que nous avons obtenus, M. Meusnier et moi, dans des expériences faites postérieurement en commun, et dont je parlerai bientôt, il paraîtrait que la proportion en volume du mélange des deux airs, en les supposant

l'un et l'autre dans leur plus grand degré de pureté, est de 12 parties d'air vital, et de 22,924345 d'air inflammable; mais on ne peut disconvenir qu'il ne reste encore quelque incertitude sur l'exactitude de cette proportion. En partant, au surplus, de cette donnée, qui ne doit pas s'écarter de beaucoup du vrai, et en supposant qu'à 28 pouces de pression et à 10 degrés du thermomètre, l'air vital pèse 0 grain, 47317 le pouce cube, et l'air inflammable 0 grain, 037449, ainsi qu'il résulte des expériences faites avec M. Meusnier, on trouve qu'une livre d'eau est composée ainsi qu'il suit :

	Livres.
Air vital ou plutôt principe oxygine..........	0,86866273
Air inflammable, ou plutôt principe inflammable de l'eau..........	0,13133727
Total..........	1,00000000

Ces nombres, exprimés en fractions vulgaires de livres, reviennent à :

	Onces.	Gros.	Grains.
Principe oxygine..........	13	7	13,6
Principe inflammable..........	2	0	58,4
Total..........	16	»	»

Enfin, en réduisant ces quantités au volume, on trouve, pour les quantités de pouces cubiques de chacun des deux airs :

	Pouces cubiques.
Air vital..........	16919,07
Air inflammable..........	32321,29
Total..........	49240,36

Cette seule expérience de la combustion des deux airs, et leur conversion en eau, poids pour poids, ne permettait guère de douter que cette substance, regardée jusqu'ici comme un élément, ne fût un corps composé; mais pour constater une vérité de cette importance, un seul fait ne

suffisait pas; il fallait multiplier les preuves, et, après avoir composé artificiellement de l'eau, il fallait la décomposer : je m'en suis occupé pendant les vacances de 1783, et j'ai rendu compte très sommairement du succès de mes tentatives, dans un mémoire lu à la rentrée publique de la Saint-Martin, et dont l'extrait a été publié dans plusieurs journaux.

Je fis observer alors que, si véritablement l'eau était composée, comme l'annonçait la combustion des deux airs, de l'union du principe oxygine avec le principe inflammable aqueux, on ne pouvait la décomposer, et obtenir séparément l'un de ses principes sans présenter à l'autre une substance avec laquelle il eût plus d'affinité : le principe inflammable aqueux ayant plus d'affinité avec le principe oxygine qu'avec aucun autre corps comme je le ferai voir dans mon mémoire sur les affinités, ce n'était pas par ce *latus* que pouvait être tentée la décomposition; c'était donc le principe oxygine qu'il fallait attaquer. Je savais, à cet égard, par des expériences déjà connues, que le fer, le zinc et le charbon avaient une grande affinité avec lui; en effet, M. Bergman nous avait appris, dans son analyse du fer, que la limaille de ce métal se convertissait, dans l'eau distillée seule, en éthiops martial, et qu'en même temps il se dégageait une grande quantité d'air inflammable; d'un autre côté, M. l'abbé Fontana, ayant éteint des charbons ardents dans de l'eau, sous une cloche remplie d'eau, en avait retiré une quantité notable d'air inflammable; et M. Sage m'avait communiqué une observation qui lui avait été envoyée d'Allemagne par MM. Hassenfratz, Stoultz et d'Hellancourt, élèves de l'École des Mines; il en résultait que du fer rouge éteint dans l'eau, sous une cloche, comme M. l'abbé Fontana l'avait fait pour le charbon, donnait également de l'air inflammable; enfin M. de Laplace, qui était au courant de mes expériences, qui les avait partagées souvent, et qui m'aidait de ses conseils,

m'avait répété bien des fois qu'il ne doutait pas que l'air inflammable qui se dégageait de la dissolution du fer et du zinc, dans l'acide vitriolique et l'acide marin, ne fût dû à la décomposition de l'eau.

Il se fondait sur les raisons suivantes, dont il me fit part dans le mois de septembre 1783. Je vais transcrire ses propres expressions : « Par l'action des acides, le métal se dissout sous forme de chaux, c'est-à-dire uni à l'air vital, et, relativement au fer, cette quantité d'air forme le quart ou le tiers de son poids. La dissolution ayant également lieu dans les vaisseaux fermés, il est visible que l'air vital n'est point fourni par l'atmosphère; il ne l'est pas non plus par l'acide; car on sait, d'après les expériences de M. Lavoisier, que l'acide vitriolique, privé d'une partie de l'air vital qu'il renferme, donne de l'acide sulfureux ou du soufre; or on n'a aucun de ces deux résultats lorsqu'on dissout le fer dans de l'acide vitriolique suffisamment affaibli : d'ailleurs, ce qui prouve que l'acide n'est point altéré par son action sur le fer, c'est qu'après cette action il faut, pour le saturer, ainsi que M. Lavoisier l'a constaté, employer la même quantité d'alcali. Il ne reste donc que l'eau à laquelle on puisse attribuer l'air vital qui s'unit au métal dans sa dissolution; elle se décompose donc, et son principe inflammable se développe sous forme d'air : il suivait de là que, si, par la combustion, on combinait de nouveau ce même principe avec l'air vital, on reproduirait l'eau qui s'est décomposée; cette conséquence étant confirmée par plusieurs expériences incontestables, elle fournit une nouvelle preuve de la décomposition de l'eau par l'action des acides sur les métaux, lorsqu'il en résulte de l'air inflammable.

« La considération de cet air nous conduit encore au même résultat; car il n'est point dû aux acides qui, comme nous venons de l'observer, n'éprouvent point d'altération dans leur action sur les métaux; et, s'il

venait des métaux mêmes, on devrait également obtenir de l'air inflammable par l'action de l'acide nitreux. On pourrait, à la vérité, supposer que cet air entre dans la formation de l'air nitreux qui se dégage dans cette opération; mais alors l'air inflammable devrait reparaître, lorsqu'en combinant l'air nitreux avec l'air vital on reproduit l'acide nitreux; d'ailleurs, l'action de l'acide nitreux sur le mercure développe de l'air nitreux; il ne paraît pas cependant que le mercure lui fournisse de l'air inflammable, puisque la chaux mercurielle qui a résulté de cette action se revivifie sans addition d'air inflammable et par la simple chaleur. Les considérations sur les bases des airs vital et inflammable, dont l'une se combine et dont l'autre se développe dans les dissolutions métalliques, se réunissent donc pour faire voir que l'eau se décompose dans ces opérations. »

Toutes ces considérations réunies ne me permettaient pas de douter que les métaux n'exerçassent une action marquée sur l'eau, et, pour la constater, je commençai mes expériences par le fer.

Je remplis des jarres de mercure; j'y fis ensuite passer de petites quantités d'eau distillée qui avait bouilli, et de la limaille de fer bien pure, en différentes proportions, et je laissai le tout en repos pendant plusieurs mois : je reconnus bientôt que ces deux substances avaient une action réciproque l'une sur l'autre; il se détacha peu à peu de la limaille une poudre noire très légère; la quantité s'en augmenta, et, au bout de quelques mois, presque toute la limaille de fer, dans les jarres au moins où je n'en avais introduit qu'une petite quantité, se trouva convertie en éthiops martial; en même temps il s'était dégagé une quantité d'air inflammable très considérable, qui s'était rassemblée en haut des vaisseaux, et qui se trouva très pure : à l'égard des jarres où la quantité de limaille de fer était plus considérable, il s'y dégagea plus d'air inflammable; mais je fus obligé d'interrompre avant

que la totalité de la limaille fût convertie en éthiops, à cause de la lenteur de l'opération.

En rapprochant le résultat de ces différentes expériences, je reconnus qu'un quintal, ou cent livres de limaille de fer, acquéraient, en se convertissant ainsi en éthiops par la seule action de l'eau, vingt-cinq livres d'augmentation de poids, et qu'il se dégageait en même temps 538 pieds cubes $\frac{1}{8}$ d'air inflammable très léger, pesant 3 livres 12 onces 3 gros 60 grains; ces quantités sont même au moins du douzième plus fortes, quand on opère avec du fer parfaitement pur et qui ne contient aucune portion de principe oxygine.

Pendant que je m'occupais de ces expériences, M. Blagden, qui était à Paris, nous donna une connaissance très exacte des expériences faites par M. Priestley sur la revivification des chaux métalliques dans l'air inflammable; M. Magellan et plusieurs autres physiciens anglais en avaient déjà écrit à différents membres de l'Académie; ces expériences me confirmèrent de plus en plus dans l'opinion où j'étais, que l'eau était un corps composé : voici la manière dont opère M. Priestley.

Il emplit d'air inflammable, tiré du fer par l'acide vitriolique, une cloche de verre placée sur la tablette de l'appareil pneumato-chimique à l'eau; il y introduit, à travers l'eau, du *minium* qu'il a fait préalablement bien chauffer pour en chasser tout l'air; ce *minium* est placé sur un tesson de creuset, et soutenu par un support; enfin, il fait tomber sur la chaux métallique le foyer d'une lentille de verre : d'abord la chaux se sèche par la chaleur de la lentille; ensuite le plomb se revivifie; en même temps l'air inflammable est absorbé, et on parvient ainsi à en faire disparaître des quantités très considérables. Il est impossible, dans l'appareil de M. Priestley, de pousser cette expérience jusqu'au bout, c'est-à-dire jusqu'à ce que tout l'air inflammable ait disparu, parce qu'on serait forcé de faire tomber le foyer sur les parois

mêmes de la cloche, et qu'elle se casserait infailliblement; d'ailleurs, la chaux de plomb serait elle-même submergée; mais, malgré cette difficulté, M. Priestley est parvenu à réduire 101 mesures d'air inflammable à 2, et ce restant était encore de l'air inflammable pur. Il a conclu de cette expérience que l'air inflammable se combinait avec le plomb pour le revivifier, et que, par conséquent, l'air inflammable et le phlogistique n'était qu'une seule et même chose, comme l'avait annoncé M. Kirwan.

J'observai que M. Priestley n'a pas fait attention à une circonstance capitale qui a lieu dans cette expérience, c'est que le plomb, loin d'augmenter de poids, diminue au contraire de près d'un douzième : il s'en dégage donc une substance quelconque; or cette substance est nécessairement de l'air vital, dont le *minium* contient près d'un douzième. Mais, d'un autre côté, il ne reste, après cette opération, de fluide élastique d'aucune espèce; non seulement on ne retrouve pas dans la cloche d'air vital, mais l'air inflammable lui-même qui la remplissait disparaît : donc les produits ne sont plus dans l'état aériforme; et, puisque, d'un autre côté, il est prouvé que l'eau est un composé d'air inflammable et d'air déphlogistiqué, il est clair que M. Priestley a formé de l'eau sans s'en douter.

.... Le fer, par la voie humide, m'ayant donné, ainsi que je l'ai déjà exposé, des signes d'une action non équivoque sur l'eau, nous résolûmes, M. Meusnier et moi, de suivre cette indication; mais, comme la production de l'air inflammable à froid était extrêmement lente, que je n'en avais même obtenu que des volumes peu considérables, nous pensâmes qu'il était important de tenter cette expérience à un degré de chaleur beaucoup plus fort, et que ce serait probablement un moyen d'abréger beaucoup le temps de l'expérience.

Nous étions confirmés dans cette opinion : 1° parce que l'affinité du fer pour le principe oxygine augmente à mesure qu'il est plus échauffé; 2° parce que la chaleur

produit un effet contraire sur les deux principes de l'eau, et que nous ne pouvions douter que leur adhérence entre eux ne diminuât à un certain degré de chaleur; 3° enfin, parce que la matière de la chaleur étant un des éléments nécessaires à la formation des fluides aériformes, c'était se placer dans des circonstances favorables, que d'opérer à un degré de chaleur considérable. La difficulté était de faire éprouver à l'eau un degré supérieur à celui de l'ébullition : on sait que ce fluide se vaporise à 80 degrés du thermomètre de Réaumur, quand il n'est chargé que de 28 pouces de mercure. Nous n'avions donc que deux moyens de remplir notre objet : ou en faisant supporter à l'eau un très grand degré de pression dans un appareil analogue à la machine de Papin, ou en la prenant dans l'état de vapeur. Le premier de ces moyens nous parut trop dangereux, et nous nous arrêtâmes au second. Nous prîmes en conséquence un canon de fusil dont on avait ôté la culasse, c'est-à-dire qui était ouvert par les deux bouts; comme nous le destinions à éprouver un grand degré de chaleur, pour éviter la calcination extérieure, nous le recouvrîmes en dehors, dans toute sa région moyenne, avec deux couches de fil de fer tournées en spirales, et appliquâmes par-dessus une couche d'un lut formé avec de la terre grasse, du sable et de la poudre de charbon; nous fîmes passer ce canon à travers un fourneau, en l'inclinant de quelques degrés avec l'horizon, afin de donner à l'eau une pente suffisante pour la déterminer à couler; un entonnoir de fer-blanc, dont la queue était garnie d'un robinet, s'ajustait et se lutait solidement à l'extrémité la plus élevée du canon, tandis que l'extrémité inférieure répondait à un serpentin d'étain; enfin, au bas du serpentin était luté un flacon tubulé, destiné à recevoir la liqueur qui pourrait s'écouler, et en même temps à transmettre par un tuyau adapté et luté à la tubulure les produits aériformes dans l'appareil pneumato-chimique. Tous ces détails sont rendus sensibles

DÉCOMPOSITION DE L'EAU

A B C D E F G H K L M O P S

dans la *planche* jointe au mémoire que nous avons donné en commun, M. Meusnier et moi. (Voir pl. III.) Comme les canons du fusil sont rarement assez longs pour ce genre d'expériences, nous avons souvent été obligés d'y faire ajouter des bouts de tuyaux de cuivre jaune brasé; et, comme il n'y a que le milieu du canon qui supporte l'ardeur du feu dans ces expériences, la chaleur, dans l'endroit des soudures, n'était pas assez forte pour qu'elles en souffrissent.

Cet appareil nous a donné lieu de faire les observations qui suivent : si, lorsque le canon de fusil est rouge et incandescent, on y laisse couler de l'eau goutte à goutte et en très petite quantité, elle s'y décompose en entier, et il n'en ressort aucune portion par l'ouverture inférieure du canon; le principe oxygine de l'eau se combine avec le fer et le calcine; en même temps le principe inflammable aqueux, devenu libre, passe dans l'état aériforme, et avec une pesanteur spécifique qui est environ de deux vingt-cinquièmes de celle de l'air commun. Dans le commencement de l'expérience, la production d'air inflammable est très rapide; elle se ralentit bientôt ensuite, et elle arrive à une uniformité qui dure pendant plusieurs heures; enfin, au bout de huit à dix heures, plus ou moins, suivant l'épaisseur du canon, le passage de l'air inflammable se ralentit, et l'eau finit par ressortir en totalité du canon, comme elle y était entrée, sans se décomposer. Si cette opération a été poussée jusqu'au bout, toute la substance du fer qui formait le canon du fusil se trouve convertie en une substance noire brillante, cristallisée en facettes comme la mine de fer spéculaire; cette substance est fragile et cassante, médiocrement attirable à l'aimant; on peut la réduire en poudre dans un mortier, et elle ne diffère alors en rien de ce qu'on désigne, en chimie et en pharmacie, sous le nom d'*éthiops martial* : cette matière occupe un volume beaucoup plus considérable que le fer qui a servi à la former; le canon de fusil

se trouve en conséquence augmenté d'épaisseur, et son diamètre intérieur considérablement diminué. Le fer, dans cette expérience, acquiert une augmentation de poids de 25 à 30 livres par quintal, mais ce n'est pas par cet appareil qu'on peut en déterminer exactement la quantité, parce que, quelque précaution que l'on prenne, il s'opère une calcination plus ou moins forte du fer à l'extérieur du canon, et qu'il est impossible de savoir si l'augmentation de poids observée appartient à la calcination intérieure ou à celle extérieure. (LAVOISIER, t. II, p. 334.)

LIVRE II

LES SUCCESSEURS DE LAVOISIER

CHAPITRE I

AFFINITÉ ET COMBINAISON

Les puissances qui produisent les phénomènes chimiques sont toutes dérivées de l'attraction mutuelle des molécules des corps à laquelle on a donné le nom d'affinité, pour la distinguer de l'attraction astronomique.

Il est probable que l'une et l'autre ne sont qu'une même propriété; mais l'attraction astronomique ne s'exerçant qu'entre des masses placées à une distance où la figure des molécules, leurs intervalles et leurs affections particulières, n'ont aucune influence, ses effets toujours proportionnels à la masse et à la raison inverse du carré des distances peuvent être rigoureusement soumis au calcul : les effets de l'attraction chimique ou de l'affinité sont au contraire tellement altérés par les conditions particulières et souvent indéterminées, qu'on ne peut les déduire d'un principe général; mais qu'il faut les constater successivement. Il n'y a que quelques-uns de ces effets qui puissent être assez dégagés de tous les autres phénomènes, pour se prêter à la précision du calcul.

C'est donc l'observation seule qui doit servir à con-

stater les propriétés chimiques des corps, ou les affinités par lesquelles ils exercent une action réciproque dans une circonstance déterminée; cependant, puisqu'il est très vraisemblable que l'affinité ne diffère pas dans son origine de l'attraction générale, elle doit être également soumise aux lois que la mécanique a déterminées pour les phénomènes dus à l'action de la masse, et il est naturel de penser que plus les principes auxquels parviendra la théorie chimique auront de généralité, plus ils auront d'analogie avec ceux de la mécanique; mais ce n'est que par la voie de l'observation qu'ils doivent atteindre à ce degré, que déjà l'on peut indiquer.

L'effet immédiat de l'affinité qu'une substance exerce, est toujours une combinaison; en sorte que tous les effets qui sont produits par l'action chimique, sont une conséquence de la formation de quelque combinaison.

Toute substance qui tend à entrer en combinaison, agit en raison de son affinité et de sa quantité. Ces vérités sont le dernier terme de toutes les observations chimiques....

La chimie ne faisait que se grossir d'observations incomplètes, et de théories particulières qui n'avaient aucune liaison entre elles, qui se succédaient comme les caprices de l'imagination, et qui n'avaient aucun rapport avec les lois générales; orgueilleuse et isolée de toutes les autres connaissances, plus elle faisait d'acquisitions, plus elle s'éloignait du caractère des véritables sciences.

Ce n'est que depuis que l'on a reconnu l'affinité comme la cause de toutes les combinaisons, que la chimie a pu être regardée comme une science qui commençait à avoir des principes généraux : dès lors on a cherché à soumettre à un ordre régulier la succession des combinaisons, que différents éléments peuvent former, et à déterminer les proportions qui entrent dans ces combinaisons.

Bergmann donna beaucoup plus d'étendue à l'application de ce premier principe : il fit apercevoir la plupart

des causes qui pouvaient en déguiser ou en faire varier les effets : il fonda sur lui les méthodes des différentes analyses chimiques, qu'il porta à un degré de précision inconnu jusqu'à lui.

Cependant un grand nombre de phénomènes dépendent de la combinaison de l'oxygène qui est la substance dont les affinités paraissent le plus actives; et son existence même n'était point connue : il fallait suppléer par des hypothèses à l'action qu'il exerce. Priestley n'eut pas plutôt fait connaître cette substance qui joue un rôle si important, que Lavoisier en détermina les combinaisons, et rappela (ou rapporta) à cette cause réelle les nombreux effets qu'elle produit. Le grand jour que ses découvertes immortelles répandirent non seulement sur les phénomènes qui en dépendaient, mais encore sur l'action de plusieurs autres gaz découverts à la même époque, mérita à la révolution qu'il produisit l'honneur d'être regardée comme une théorie générale et nouvelle.

La considération précise d'une cause également puissante, par les modifications qu'elle introduit dans les résultats de l'affinité, celle de l'action de la chaleur était aussi nécessaire pour l'interprétation de la plupart des phénomènes : on devait à Black la découverte des propriétés fondamentales de la chaleur; elles avaient occupé après lui plusieurs physiciens; mais elles furent soumises à des lois bien déterminées, dans un savant mémoire qu'on doit à Laplace et à Lavoisier.

On voit donc que la chimie a acquis de nos jours la connaissance de ces propriétés génératrices qui accompagnent toute action chimique, et qui sont la source de tous les phénomènes qu'elle produit : cette science a donc pu être fondée sur des principes dont l'application a fait faire des progrès rapides à toutes les connaissances qu'elle embrasse. (Berthollet, *Essai de statique chimique*. 2 vol. in-8, Paris, 1803, t. I, p. 1-3.)

Remarques sur l'affinité.

Quelle est la force qui détermine les corps simples à s'unir à d'autres corps simples pour former des composés : les acides aux bases pour produire des sels; la chaux vive à l'eau pour faire la chaux éteinte; le charbon à brûler dans l'air, le fer à s'y couvrir de rouille?

Cette force, on ne la connaît pas. On sait seulement qu'elle ne s'exerce qu'au contact apparent des corps; qu'elle devient insensible à des distances sensibles; que si la masse des corps intervient dans les phénomènes qu'elle produit, c'est surtout leur nature qui exerce l'action prépondérante.

On la désigne sous le nom d'*affinité*.

Newton, cela est connu [1], avait fait de nombreuses expériences de chimie qui ont été perdues. Les conclusions qu'il en avait tirées ont été résumées par lui-même. Elles ont servi de base à la doctrine chimique de Bergmann et à celle de Buffon, qui, par un emploi prématuré des principes de Newton, n'ont pas peu contribué à éloigner les chimistes de leur accorder le respect qu'ils méritent. Aussi le nom de Newton a-t-il disparu des traités de chimie, et je pense avec M. Chevreul, ainsi que M. Trouessart, qu'il doit y être rétabli, comme ayant le premier bien compris la nature de l'affinité.

Lavoisier, contemporain de Buffon, mais plus réservé que lui sur une matière dont les difficultés lui étaient mieux connues, ne s'est jamais expliqué d'une manière expresse au sujet de l'affinité. Il considérait même cette branche de la science comme trop élevée pour être à la portée des chimistes de son temps, et il leur conseillait, avant de s'en occuper, d'asseoir sur une base solide les éléments de la chimie, de même, dit-il, qu'on fixe avec

1. Voir plus haut, p. 75 et 268.

certitude les principes de la géométrie élémentaire avant d'aborder les difficultés de la géométrie supérieure.

Lavoisier, ajournant l'étude de la force qui produit les phénomènes chimiques, avait donc concentré son attention sur le rôle de la matière pondérable. Il avait considéré, sans doute, la chaleur dégagée ou absorbée dans les réactions des corps comme un phénomène fondamental dont la mesure était aussi nécessaire à leur explication que la détermination du poids des substances obtenues, mais on ne voit pas qu'il ait considéré cette chaleur comme l'expression de la force chimique.

Matière pondérable, chaleur, attraction moléculaire : voilà les trois termes auxquels Lavoisier a eu recours et dont il s'est contenté pour l'explication des phénomènes chimiques. Il a soumis la matière et la chaleur dans leurs déplacements aux mesures les plus exactes et les plus délicates. Il a laissé l'attraction à l'écart comme une notion inaccessible à l'expérience et ne pouvant donner lieu de son temps qu'à des hypothèses inutiles.

Lavoisier avait donc admis l'attraction chimique, l'affinité, et n'en avait pas cherché l'explication. En cela, il s'était trouvé d'accord avec Newton. Ce grand homme énonçait, en effet, de la matière suivante, le résultat de ses travaux et de ses réflexions sur les phénomènes chimiques près d'un siècle auparavant, montrant par la précision des détails et la profondeur des vues que les humbles études pratiques du laboratoire lui étaient aussi familières que les conceptions les plus élevées de la mécanique céleste :

« Les petites particules des corps, dit-il [1], n'ont-elles pas certaines vertus, puissances ou forces au moyen desquelles elles agissent à certaines distances, non seulement sur les rayons de la lumière pour les réfléchir, les rompre et les infléchir, mais encore les unes sur les

1. Newton, *l'Optique*, t. II, liv. III : Question 31. — J. G.

autres? C'est une chose connue que les corps agissent les uns sur les autres par les attractions de la gravité, du magnétisme et de l'électricité; ces exemples qui nous montrent l'ordre et les procédés que suit la nature, nous montrent aussi qu'il peut y avoir d'autres puissances attractives.

« Ce que j'appelle *attraction* peut être produit par impulsion ou par d'autres moyens qui nous sont inconnus. Je n'emploie ce mot d'*attraction* que pour désigner en général une force quelconque par laquelle les corps tendent réciproquement les uns vers les autres, quelle qu'en soit la cause.

« Car c'est par l'étude directe des phénomènes de la nature que nous devons apprendre quels corps s'attirent réciproquement, et quelles sont les lois et les propriétés de cette attraction, avant de rechercher la cause efficiente qui la produit.

« Les attractions de la gravité, du magnétisme et de l'électricité s'étendent jusqu'à des distances fort sensibles; aussi tombent-elles sous les sens et la perception même du vulgaire. Mais, il peut y avoir d'autres attractions qui s'arrêtent à de si petites distances qu'elles ont échappé jusqu'ici à toute observation, et peut-être que l'attraction électrique peut agir à ces sortes de petites distances, même sans être excitée par le frottement. »

Newton explique par cette attraction la propriété qu'ont certains sels, de prendre l'eau à l'air et la difficulté qu'on éprouve à en séparer cette eau par la chaleur; de même l'absorption de la vapeur d'eau par l'acide sulfurique et la chaleur développée par le mélange de cet acide avec l'eau :

« Si l'acide du vitriol chasse du sel marin ou du nitre les acides qui y sont contenus, c'est qu'il est plus vivement attiré qu'eux par leur alcali fixe, lequel, n'étant pas capable de retenir deux acides à la fois, laisse échapper le sien.

« Si la potasse précipite les dissolutions métalliques,

c'est que les particules acides sont plus fortement attirées par l'alcali que par le métal.

« Si une dissolution de cuivre dissout le fer et laisse aller le cuivre; si une dissolution d'argent dissout le cuivre et laisse aller l'argent, etc., n'est-ce pas que les particules acides sont plus attirées par le fer que par le cuivre, par le cuivre que par l'argent?

« Les métaux rongés par un peu d'acide se changent en rouille, terre insipide et qui ne peut être dissoute par l'eau. Cette terre infusée dans un peu plus d'acide devient un sel métallique. Certaines pierres dissoutes dans des menstrues [1] convenables deviennent des sels. Tout cela ne montre-t-il pas que les sels sont composés d'une terre sèche et d'un acide aqueux unis ensemble par attraction, et que la partie terreuse ne peut devenir sel, si on n'y ajoute une quantité d'acide assez grande pour qu'elle puisse ensuite être dissoute par l'eau? »

Je ne pense pas qu'aucun chimiste contemporain de Newton ait possédé la notion juste et saine des principes de la Chimie que résument ces lignes. Il est douteux que de son temps on en ait compris la force et la portée.

On peut donc considérer, non comme de vaines hypothèses, mais comme le fruit d'une expérience très avancée, de longues et substantielles études, les réflexions suivantes de Newton :

« Les plus petites particules de matière peuvent être unies par les plus fortes attractions et composer des particules plus grosses dont la force attractive sera moins considérable : plusieurs de ces dernières peuvent s'unir, à leur tour, et composer des particules plus grosses dont la force attractive soit encore moins considérable, et ainsi de suite, en continuant la série, jusqu'à ce que la progression finisse par les plus grosses particules d'où dépendent les phénomènes chimiques et les couleurs des

1. Dissolvants.

corps naturels. Jointes ensemble, ces dernières composent, enfin, les corps qui, par leur grandeur, tombent sous les sens.

« Les différents degrés de fluidité, de volatilité ou de fixité dépendront de la plus ou moins grande force d'union des parties ou de leur plus ou moins grande grosseur.

« Puisque les métaux, ajoute encore Newton, dissous dans les acides n'attirent à eux qu'une petite partie de l'acide, il est clair que leur force attractive ne s'étend qu'à de petites distances. Et comme, en Algèbre, les quantités négatives commencent là où s'évanouissent et finissent les positives, de même, en Mécanique, la force répulsive doit commencer à se manifester là où la force attractive vient à cesser.

« S'il en est ainsi, la marche de la nature sera simple et toujours conforme à elle-même. Elle accomplira tous les grands mouvements des corps célestes par l'attraction de gravité qui est mutuelle entre tous ces corps, et elle accomplira presque tous les mouvements de leurs particules par une autre force attractive et répulsive qui est aussi mutuelle entre ces particules.

« Il y a dans la nature des agents capables d'unir les particules des corps, et c'est à la philosophie expérimentale à découvrir ces agents. »

Newton admet enfin qu' « à l'origine des choses, Dieu forma la matière de telle façon que ses particules primigènes, dont devait sortir par la suite toute nature corporelle, fussent solides, fermes, dures, impénétrables et mobiles; avec telles grandeurs et figures, et, en outre, telles propriétés, en tel nombre et en telle proportion qu'il convenait, à raison de l'espace où elles devaient se mouvoir, et de manière qu'elles pussent le mieux atteindre les fins pour lesquelles elles étaient formées.

« Par cela même que ces particules primigènes sont complètement solides, elles sont incomparablement plus

dures qu'aucun des corps composés. Elles ne peuvent être ni usées, ni fractionnées. »

De même qu'il serait difficile de définir mieux que ne le faisait Newton l'attraction moléculaire, à laquelle se rapporte l'affinité chimique, de même la définition qu'il donne des atomes serait encore aujourd'hui la meilleure introduction à l'exposé des idées qu'il est possible de se former des atomes de la chimie actuelle, qui se confondent avec les particules qu'il nomme *primigènes*. Les chimistes du temps présent éludent, il est vrai, la difficulté, en laissant dans le vague tout ce qui concerne la nature de l'affinité ou celle des atomes. Ils obéissent ainsi aux habitudes louables de leur esprit, préférant se taire sur des sujets où manque la certitude; mais cette réserve n'est pas sans inconvénient, car ceux qui commencent l'étude de la chimie essayent naturellement de suppléer au silence du maître sur ces matières, les seules qu'on puisse aborder quand on est privé de laboratoire et qu'on n'est pas conduit à fixer toute son attention sur les détails des expériences et sur le maniement des appareils. Il n'est pas nécessaire d'ajouter qu'ils s'égarent, et que l'un des principaux obstacles à la diffusion des principes sains de la chimie tient, peut-être, à cette ignorance où le commençant est laissé sur la nature de la force qu'elle met en jeu et sur celle des atomes qu'elle considère.

« Les particules primigènes, ajoute Newton, ont en elles non seulement la force d'inertie et sont soumises aux lois passives du mouvement qui résultent nécessairement de cette force, mais, de plus, elles reçoivent perpétuellement le mouvement de certains principes actifs, tels que la gravité, la cause de la fermentation et de la cohérence des corps. »

Je termine ces citations par quelques lignes dans lesquelles Newton expose la vraie philosophie des sciences :

« Dire que chaque espèce de choses est douée d'une

qualité occulte spécifique, par laquelle elle a une certaine puissance d'agir et de produire certains effets sensibles, c'est ne rien dire du tout. Mais déduire des phénomènes de la nature deux ou trois principes généraux de mouvement et faire voir ensuite comment les propriétés et les actions de toutes les choses corporelles découlent de ces principes constatés, ce serait faire un grand progrès dans la philosophie, quoique les causes de ces principes eux-mêmes ne fussent pas encore connues.

« Sur ce fondement, je ne fais pas difficulté, dit-il comme conclusion, de proposer les principes de mouvement dont j'ai parlé, parce que la nature entière les révèle de la manière la plus évidente, mais je laisse à d'autres le soin d'en découvrir les causes. »

Sans résoudre la question posée par Newton, plus tard Berthollet découvrit au moins un de ces principes généraux de mouvement dont l'application aux réactions fondamentales des sels les uns sur les autres, des acides et des bases sur les sels, constitue ce qu'on désigne sous le nom de *lois de Berthollet.*

Si l'on mêle, par exemple, du nitrate de chaux et du sulfate de soude, l'un et l'autre en solution dans l'eau, il se dépose du sulfate de chaux, et la liqueur retient du nitrate de soude.

Berthollet attribue avec raison l'échange de base et d'acide qui s'est opéré, non à de plus énergiques affinités, mais à la faible solubilité du sulfate de chaux. Il fait voir qu'en général, lorsqu'on mêle deux solutions salines et que l'un des quatre sels susceptibles de prendre naissance est insoluble, celui-ci se forme, se dépose et détermine ainsi la production du sel correspondant complémentaire.

Berthollet attribue à la cohésion plus grande du sel insoluble la cause qui détermine sa formation; mais lorsqu'on essaye de préciser à quels signes il reconnaît si la cohésion d'un sel est plus ou moins considérable, on est forcé d'accepter la solubilité et l'insolubilité elles-mêmes,

comme les seuls indices de la faiblesse ou de l'intensité de la cohésion. Aussi, dans l'exposé des lois de Berthollet, s'est-on contenté depuis longtemps de dire que, dans le mélange de deux solutions salines, si le sel insoluble possible se forme et se dépose, c'est parce qu'il est insoluble.

J'ai reconnu, cependant, que Newton avait signalé avec une rare prévoyance la plus ou moins grande force d'union des parties comme l'une des causes déterminantes de la fluidité ou de la fixité; car ce que Berthollet désigne sous le nom de *cohésion* consiste réellement en une diminution de volume, en un accroissement de densité, comme mes études sur les volumes atomiques le constatent.

Vient-on à comparer, par exemple, la magnésie, la chaux, la strontiane et la baryte dans leurs rapports avec l'acide sulfurique, on trouve que la condensation des éléments va en croissant du sulfate de magnésie au sulfate de baryte. Elle est au minimum dans le sulfate de magnésie, celui de ces quatre sulfates que l'eau dissout facilement; au maximum dans le sulfate de baryte, tout à fait insoluble.

Tous les sulfates solubles sont comparables, sous ce rapport, au sulfate de magnésie. Le sulfate de plomb, qui est insoluble, ressemble, au contraire, au sulfate de baryte.

La même relation s'observe entre le chlorure d'argent, le calomel, le chlorure de plomb et le sublimé corrosif. La condensation des éléments est au maximum dans le premier de ces corps, qui est le plus insoluble, au minimum dans le dernier, qui est le plus soluble....

Les phénomènes de double décomposition sont toujours déterminés par la production du composé le plus condensé et par sa précipitation.

Ainsi, une plus grande force d'union entre les parties, laquelle a pour mesure le rapprochement de celles-ci,

c'est-à-dire leur condensation, est un signe d'insolubilité, comme le prévoyait Newton, une preuve d'accroissement de cohésion et une cause de double décomposition, comme le professait Berthollet.

Mais pourquoi cette condensation est-elle plus grande dans les sulfates de baryte et de plomb, et moindre dans les sulfates de magnésie et de cuivre? Pourquoi les phosphates sont-ils généralement insolubles, tandis que tous les nitrates et tous les acétates sont solubles? Nous l'ignorons, et si pour répondre à de telles questions, il n'est pas nécessaire peut-être d'arriver à la connaissance absolue de la nature de l'affinité, du moins est-il indispensable d'en pénétrer plus profondément les lois.

Lavoisier ne s'était jamais expliqué au sujet de l'affinité; Newton voulait qu'avant d'en rechercher la nature, on fît une étude approfondie des lois auxquelles elle obéit. Mais le point de vue réservé qui avait été choisi par ces deux grands hommes fit place, au commencement de ce siècle, à un point de vue nouveau : ils comparaient l'un et l'autre l'attraction chimique ou moléculaire à l'attraction générale. Davy, Œrstedt, Ampère, Berzélius, notre confrère M. Becquerel et leurs imitateurs essayèrent de la rattacher spécialement aux attractions électriques, ou même de la confondre avec ces forces....

Ces diverses conceptions n'ont eu qu'une seule conséquence pratique. Davy, convaincu que la force qui réunissait les éléments des corps composés était de nature électrique, en conclut qu'en opposant à l'électricité de combinaison l'électricité de décomposition fournie par la pile, on analyserait tous les corps. Augmentant, en conséquence, la puissance voltaïque dont il disposait, il parvint à isoler les métaux des alcalis, ceux des terres, le bore et le silicium.

Après ce grand événement, les théories électro-chimiques n'ont plus rien appris qui fût propre à guider les chimistes, soit sur la nature de l'affinité, soit sur les lois

qui en règlent l'intervention dans la formation ou dans la destruction des corps.

Il est resté démontré seulement que toute action chimique est accompagnée d'un mouvement électrique et que toute combinaison chimique conductrice peut être disjointe, lorsqu'elle est placée entre les deux pôles d'une pile. Les métaux sont toujours amenés au pôle négatif, l'oxygène constamment au pôle positif, et les autres corps à l'un ou à l'autre des deux pôles, selon la nature des composés dans lesquels ils sont engagés.

Quand deux corps se combinent, il y a dégagement d'électricité, et quand deux corps se séparent, il y a absorption d'électricité.

Combien se produit-il d'électricité quand deux corps se combinent? Combien en consomme la séparation de ces mêmes corps? Ces deux questions ont été l'objet d'un examen attentif; les découvertes de Faraday et de M. Edmond Becquerel sur cette matière importante, ainsi que les travaux poursuivis par M. Favre dans la même voie, les ont éclairées d'un jour nouveau, en définissant avec précision les équivalents électriques, mais n'ont pas fourni aux chimistes une doctrine de l'affinité.

Après avoir reconnu que l'espoir de représenter l'affinité dans sa cause et dans ses effets comme une action purement électrique ne se réalisait pas et ne conduisait à aucune conception pratique, j'en étais revenu, dans les derniers cours que j'ai eu l'honneur de professer à la Faculté des Sciences, au point de vue suivant.

Acceptant l'affinité comme un fait, je constatais : 1° que la combinaison semblait possible tant que les corps mis en présence pouvaient dégager de la chaleur en agissant l'un sur l'autre, mais qu'à mesure que la combinaison se compliquait, la chaleur dégagée allait s'affaiblissant; 2° que pour séparer les corps combinés, il fallait leur restituer la chaleur qu'ils avaient perdue au moment de la combinaison.....

Les éléments qui se combinent, pour former un composé chimique, perdent donc de la chaleur. Les éléments d'un composé chimique, qui se séparent, ont donc besoin d'être portés à une température d'autant plus haute qu'ils ont émis plus de chaleur en s'unissant. Tout indique qu'ils recouvrent ainsi la chaleur qu'ils avaient perdue et qu'ils la conservent, jusqu'à ce qu'ils entrent de nouveau en combinaison.

La chaleur étant considérée comme un mouvement, la combinaison consisterait donc en une diminution de mouvement; elle cesserait d'être possible, lorsque les molécules du composé n'auraient plus de mouvement à perdre.

Quelle que soit la nature de cette intervention de la chaleur dans la formation et dans la destruction des composés chimiques, il faut y voir la somme et l'expression de toutes les forces mises en jeu pour la production successive des divers agglomérats d'une combinaison ou pour leur désagrégation. C'est donc avec un grand sentiment de la vraie nature des phénomènes chimiques que Lavoisier, dans ses équations, plaçait la chaleur au même rang que la matière, et qu'il mettait un si grand prix aux études de calorimétrie qui l'ont tant occupé....

Les nouvelles recherches auxquelles a donné lieu la théorie mécanique de la chaleur ont révélé à l'attention des chimistes la théorie mécanique de la chimie formulée par Jules-Robert Meyer. Ce profond physicien considère les phénomènes chimiques comme dus à une force attractive qui précipite les atomes les uns vers les autres. Leur choc, au moment du rapprochement, produirait la chaleur, l'électricité, la lumière. L'union des atomes une fois produite, il faudrait pour en opérer la séparation faire intervenir des forces moléculaires capables de les éloigner les uns des autres et de les porter à la limite où l'attraction, devenant nulle ou même négative, cesserait d'agir ou se changerait en répulsion.

On se trouve ainsi ramené aux vues simples de Newton et de Lavoisier. La combinaison chimique s'opère entre les corps pondérables. Ses effets permanents sont dus à l'attraction. Ses effets passagers sont dus aux pertes de mouvement que les atomes éprouvent au moment de leur union.

Cependant, l'attraction générale étant admise comme une représentation nécessaire et suffisante de la force qui détermine les combinaisons chimiques, n'était-on pas conduit à effacer cette ligne de séparation depuis longtemps admise entre la cohésion et l'affinité? Ne convenait-il pas de voir une seule et même force, variant ses effets, dans les trois formes de l'agrégation : la *cohésion*, la *solution* et la *combinaison chimique*?

Non qu'il s'agisse de les confondre, car, leur cause première étant la même, il n'en serait pas moins indispensable de modifier son application dans ces trois circonstances, chacune d'elles ayant son caractère propre, distinct et persistant. De même qu'il serait toujours nécessaire de distinguer l'attraction générale de l'attraction moléculaire, il ne le serait pas moins de maintenir la distinction admise entre les trois formes de l'attraction moléculaire. Il n'est pas douteux pour moi que l'affinité elle-même une fois connue dans sa cause offrirait encore dans sa manière d'agir sur les corps l'occasion d'y reconnaître des modifications bien caractérisées, ainsi que l'a proposé depuis longtemps M. Chevreul.

Cependant, si l'action chimique, la force de dissolution et la cohésion sont de simples modifications de l'attraction générale, si elles ne constituent pas autant de forces spéciales, distinctes, ne doit-on pas s'attendre à voir l'affinité des chimistes, plus profondément étudiée, perdre son caractère particulier, devenir plus mécanique, se rapprocher, peu à peu, de ses deux congénères d'abord et enfin de l'attraction planétaire elle-même?

Or, la cohésion, la force de dissolution, semblables

en ce point à l'attraction générale, constituent des phénomènes continus. La théorie atomique range, au contraire, l'affinité parmi les phénomènes discontinus.

Berthollet, en cela sans aucun doute guidé par Laplace, familier lui-même avec la philosophie de Newton, à laquelle il avait donné la plus éclatante consécration, Berthollet a longtemps soutenu, comme on sait, que les corps peuvent se combiner dans toutes les proportions. Il aurait appliqué volontiers aux phénomènes chimiques et aux forces qui les déterminent l'axiome de Linné : *Natura non facit saltus*, qui semble fait pour les êtres organisés, et si son opinion eût été confirmée, l'affinité eût été rattachée plus étroitement à la cohésion et à l'attraction générale. Proust, qui soutenait le contraire, fit triompher son avis. La théorie atomique de Dalton, confirmée bientôt par les lois de Gay-Lussac sur les combinaisons des gaz, par les expériences de Wollaston sur les sels à divers états de saturation, par les immenses travaux de Berzélius et surtout par les rapports simples et constants qu'il a signalés dans les sels du même acide et au même état de saturation, entre l'oxygène de la base et celui de l'acide, tous ces événements considérables ont contribué puissamment à maintenir, dans la pensée des chimistes, l'affinité comme ayant un caractère propre et comme n'ayant presque rien à emprunter à l'attraction générale.

En effet, quels liens établir entre cette attraction générale, agissant en raison des masses et en raison inverse du carré des distances; obéissant sans discontinuité à tous les changements quelconques de la masse, à toutes les variations quelconques de la distance, et l'affinité chimique?

Envisagée quant aux masses, l'affinité n'accepte pas que la combinaison puisse s'effectuer ni au-dessous d'un certain minimum, ni au-dessus d'un certain maximum. Entre les deux limites extrêmes, la théorie atomique,

confirmée en cela par l'expérience universelle des chimistes, n'accepte pas non plus que les combinaisons puissent se multiplier à l'infini; loin de là, elle en borne le nombre et elle n'admet que celles qui sont représentées par des atomes unis en rapports simples, représentés par des nombres entiers, comme 1:1, 1:2, 1:3, 2:3, 2:5, 2:7.

S'il est vrai que les expériences de MM. de Marignac et Debray aient rendu certaine l'existence de composés formés selon des rapports plus complexes, même dans la chimie minérale, rien n'indique, cependant, que leur formation ait lieu selon une loi de continuité, et que leur existence soit en désaccord, à cet égard, avec le principe fondamental de la théorie atomique.

Ainsi, l'action réciproque exercée par les atomes des corps, attractive à des distances insensibles, s'affaiblissant quand ils se séparent, devenant nulle ou même répulsive en changeant de signe, telle est encore, selon la définition de Newton, l'image la plus fidèle de l'affinité.

Mais, pour en concilier les effets avec les résultats incontestables sur lesquels la théorie atomique se fonde, il faut ajouter, avec Newton, que la figure des atomes doit être prise en considération. Il n'est pas difficile de comprendre, en effet, que l'action exercée par les convenances de la figure des atomes puisse limiter la production de leurs composés, et les astreindre à se réunir selon des rapports simples, exprimés par des nombres entiers.

Ampère, dans sa jeunesse, avait proposé aux chimistes de son temps une doctrine des combinaisons chimiques rappelant à la fois les principes de l'attraction newtonienne et les lois de la cristallographie; elle excita peu d'intérêt; elle ne représentait, ni les idées absolues de l'affinité telle qu'on l'entendait alors, ni les idées du dualisme chimique tel que l'entendaient les interprètes de Lavoisier, ou du moins ceux qui, donnant à sa nomen-

clature toute la force d'une doctrine, avaient vu dans la création d'un langage fait pour aider la mémoire par la logique, une représentation réelle de la constitution intime des corps composés.

Telle est, en effet, la puissance des formes du langage qu'il est nécessaire de faire un effort sur soi-même pour comprendre, par exemple, que dans un oxyde ou dans un sulfure, il se pourrait que le métal ne fût pas le corps maîtrisé, subordonné, et que l'oxygène, le soufre ne soient pas les corps dominants. De même dans les sels. La nomenclature française, irréprochable parce qu'elle se borne à faire connaître la nature des corps unis pour former un composé, n'a jamais voulu définir l'arrangement qu'ils affectent dans la combinaison une fois réalisée. Lui donner ce sens, c'est en dénaturer l'emploi et la fausser.

La nomenclature française a voulu interpréter une classification naturelle. Elle a d'abord distingué les éléments et les substances composées. Dans les dernières, elle a formé des genres et caractérisé des espèces. Les genres ont été définis par l'élément commun à toutes leurs espèces : l'oxygène pour les oxydes, le soufre pour les sulfures, les acides carbonique, nitrique, pour les carbonates ou les nitrates; les espèces, par chacune des substances formant le complément du composé : oxyde de fer, de zinc; sulfure de plomb, d'argent; carbonate de chaux, nitrate de potasse.

Les chimistes français ont procédé en naturalistes, et comme ils créaient un langage nouveau, il leur a été permis de rendre les noms des genres singulièrement significatifs en variant les désinences.

Mais rien n'indique, ni dans ce nouveau langage ni dans l'exposé plein d'intérêt dans lequel Lavoisier en fait connaître l'origine et les principes, que de sa part et de celle de ses collaborateurs il y ait eu un autre but que celui qu'on vient de rappeler : ranger ensemble les composés qui ont un élément commun; indiquer quelles

substances entrent dans chaque combinaison et dans quelle proportion. Quant à un arrangement moléculaire, à une constitution intime du composé, il n'en est pas question.

Aujourd'hui, on serait disposé à admettre que la théorie des combinaisons chimiques proposée par Ampère satisfait le mieux aux lois générales de la Mécanique, puisqu'elle repose sur l'attraction universelle, et aux lois particulières de la Chimie, puisqu'elle fait intervenir, comme élément déterminant et caractéristique de la constitution des composés, la forme de leurs molécules, qui contiendraient au moins 4 atomes chacune dans le cas où elles seraient tétraédriques et jusqu'à 50 atomes pour d'autres solides....

La défense absolue du dualisme à outrance n'a plus conservé de partisans après les dernières luttes que Berzélius a soutenues avec un singulier éclat à la fin de sa vie, dans l'intérêt de cette doctrine.

Il est à remarquer que la théorie électro-chimique, considérant les éléments des corps comme obéissant aux deux forces électriques et les matériaux de tout composé comme s'unissant, deux à deux, pour former par agglomérations successives, et toujours deux à deux, des combinaisons de plus en plus complexes, marchait d'accord avec la nomenclature française. Il ne faut donc pas s'étonner que l'emploi du système moléculaire proposé par Ampère, modifié par M. Gaudin et généralement adopté avec diverses variantes par les chimistes qui, s'occupant de chimie organique, sont obligés de tenir compte des phénomènes de substitution, ait rendu à la fois moins ardente la poursuite d'une théorie électro-chimique précise et moins confiante l'interprétation trop absolue de la nomenclature française.

On est ainsi amené à conclure qu'en ce moment, d'une part, la recherche d'une théorie électrique de l'affinité n'occupe plus guère, quoique de belles et utiles applica-

tions de l'électro-chimie aient été accomplies dans ces dernières années et se poursuivent avec grand succès; d'autre part, qu'il n'est pas possible de représenter au moyen de la nomenclature dualistique les composés chimiques si multipliés qu'enregistre chaque jour le système moléculaire.

On se trouve ainsi ramené de plus en plus vers la recherche expérimentale des types chimiques comme base de la classification des composés, abstraction faite de toute hypothèse sur l'arrangement intérieur de leurs éléments, ce qui constitue le vrai fondement de la nomenclature française bien comprise.

On se trouve ramené en même temps vers la pensée qui attribue aux molécules des corps composés une constitution plus complexe que celle qui dériverait de la nomenclature binaire, et qui en fait des systèmes planétaires ou cristallographiques, offrant plusieurs centres de force, mobiles dans le premier cas, fixes dans le second.

On en revient enfin à la pensée qui rattacherait directement l'affinité à l'attraction universelle.

Les vues de Newton ont rencontré dans ces derniers temps un appui inattendu et considérable dans les belles et importantes recherches que notre éminent confrère M. Henri Sainte-Claire Deville a consacrées au phénomène de la dissociation, l'une des plus grandes acquisitions, non seulement de la chimie, mais de la philosophie naturelle.

Dire, en effet, qu'un liquide volatil mis en rapport avec un espace libre le remplit de sa vapeur et que la tension de celle-ci augmente ou diminue régulièrement d'une manière continue, selon que la température s'élève ou s'abaisse, rien n'est plus conforme assurément aux lois de la Mécanique.

Mais dire que l'acide carbonique se sépare de la chaux de la même manière; constater qu'il existe une tension de décomposition analogue à la tension des vapeurs et

que l'évaporation d'un liquide ou la décomposition d'un carbonate s'effectuent en vertu des mêmes lois et offrent le même phénomène de continuité, c'est rattacher la combinaison chimique à la cohésion, c'est prouver que, sous certaines conditions, les lois qui président à l'agrégation ou à la séparation des molécules de la même nature sont également applicables, lorsqu'il s'agit de molécules de nature différente.

Sans affirmer que, dans tous les cas, la dissociation des composés offre les caractères d'un phénomène continu, il suffit que le cas soit fréquent, ainsi que l'ont prouvé les travaux de notre éminent confrère et ceux de ses élèves, pour qu'il soit permis d'assimiler les séparations moléculaires purement physiques et les séparations moléculaires chimiques, et pour qu'on ait le droit de rattacher désormais l'une à l'autre la cohésion et l'affinité, et toutes les deux à l'attraction universelle.

Il résulte de cet exposé sommaire :

1° Que Newton a donné de l'affinité chimique une notion à laquelle on n'a rien ajouté, quand il l'a rattachée à l'attraction générale et qu'il a montré comment, à une certaine distance des centres d'action moléculaire, elle peut devenir nulle et même répulsive;

2° Qu'Ampère a donné à cette vue son complément : en montrant que la forme des composés met une limite au nombre de combinaisons que deux éléments peuvent produire et qu'elle détermine les rapports selon lesquels ils peuvent s'unir, en laissant même prévoir le facile remplacement des éléments les uns par les autres dans une molécule composée, sans que la stabilité de celle-ci en soit compromise;

3° Que Meyer a fait comprendre comment le choc des molécules se précipitant les unes sur les autres avec une vitesse extrême, pour produire les combinaisons, peut donner naissance aux phénomènes de chaleur, de lumière, d'électricité qui accompagnent l'action chimique;

4° Que M. Henri Sainte-Claire Deville, en découvrant



le phénomène capital de la dissociation, a ouvert une voie nouvelle à la science, en rattachant les décompositions chimiques par un lien étroit au phénomène purement physique de la formation des vapeurs;

5° Enfin, que les doctrines à l'aide desquelles on a voulu expliquer les phénomènes chimiques par une cause distincte, inconnue, ou par l'électricité, sont demeurées stériles, tandis que celles qui tendent à les faire rentrer sous les lois de l'attraction universelle se consolident, se rapprochent de plus en plus des faits et indiquent de mieux en mieux la route du progrès.

Il serait donc naturel, équitable et utile que le nom de Newton, que les définitions qu'il donne tant de l'attraction moléculaire que des atomes chimiques fussent conservés dans les ouvrages destinés à l'enseignement de la chimie.

Dans mon opinion, mais je la donne avec toute la réserve que de tels sujets exigent, la chaleur constitue la vraie mesure des énergies chimiques, tandis que la lumière et l'électricité peuvent être considérées par le chimiste, quant à présent, plutôt, soit comme des agents dont il tire parti, soit comme des phénomènes dont il constate l'apparition.

La *matière* et la *chaleur*, telle serait encore, et comme au temps de Lavoisier, la définition des deux objets sur lesquels la pensée des chimistes devrait surtout être dirigée.

Le moment viendra, sans doute, où les lois auxquelles obéit l'attraction moléculaire étant connues elles-mêmes, on pourra prévoir ou expliquer la formation des composés, leur destruction, les préférences et les choix des éléments dans la formation des combinaisons, les affections spéciales dont les acides ou les bases témoignent dans la production des sels; mais, avant d'aborder ce dernier et difficile problème, il faut connaître autrement que par des suppositions le lien qui rattache la forme des

cristaux d'une espèce chimique à l'arrangement des atomes dont le groupement constitue les molécules qui sont les matériaux de ces cristaux.

J'espère que l'Académie me pardonnera de l'avoir si longuement entretenue de ces considérations historiques et qu'elle comprendra quels intérêts s'y rattachent.

Mon but serait atteint si, d'un côté, j'avais contribué à porter plus vivement encore l'attention des chimistes sur les rapports qui unissent les mouvements de la chaleur aux transformations de la matière, et si, d'un autre côté, j'avais montré que le principe de la nomenclature française n'est pas antipathique au classement et à la dénomination des composés de la chimie organique ou moléculaire.

Lavoisier, en proposant la nouvelle nomenclature, déclarait que la Commission, dont il était l'organe éloquent, « n'avait pas voulu se livrer à de grandes discussions sur les principes constituants des corps et sur leurs molécules élémentaires; qu'elle s'était éloignée des chimistes systématiques, toujours prêts à accompagner les faits d'un appareil de raisonnement qui fait perdre de vue le fait en lui-même, et entre les mains desquels la science devient un édifice élevé par leur imagination ».

Il déclarait enfin que la Commission « avait cherché à appliquer à la chimie cette logique qui appartient à toutes les sciences : le nom de *classe* ou de *genre* rappelant, dans l'ordre naturel des idées, les propriétés communes à un grand nombre d'individus, et celui d'*espèce*, les propriétés particulières à certains individus ».

Je ne sais si je m'abuse, mais il me semble, en outre, que ce duel des molécules antagonistes qu'on retrouve dans tous les phénomènes de la chimie et que rappelle si bien la nomenclature française, demeure incontestable, et qu'il ne faut renoncer à le peindre que lorsqu'on y est forcé. Mais l'acte de la combinaison une fois accompli, le duel terminé, la nomenclature française ne prétend pas

dire que les deux corps qui ont agi l'un sur l'autre aient conservé leur caractère distinct dans la molécule nouvellement formée et ne se soient pas confondus dans un système complexe. C'est en cela que Berzélius, dépassant la pensée de Lavoisier, en exagérait le sens.

Ce n'est pas sans une légitime satisfaction qu'on a le droit de dire dans cette enceinte que, malgré les progrès qui ont métamorphosé le terrain de la science chimique, l'Académie n'a rien à regretter ni sous le rapport de la doctrine, ni sous le rapport du langage, de ce que nos illustres prédécesseurs avaient fondé avec tant de prudence, de sagesse et même de génie. (Dumas. — *Comptes rendus de l'Ac. des Sc.*, t. LXVI, p. 597-614, 21 septembre 1868; — et *Annales de Chimie et de Physique* (IVe série), t. XV, p. 70-94.)

La chaleur dégagée dans la combustion. — La flamme.

Beaucoup d'entre vous connaissent l'histoire scientifique du diamant, dont Newton, devançant par son génie les découvertes de la chimie moderne, prononça que c'était une substance grasse ou combustible. Chacun maintenant sait que cette brillante pierre précieuse est identique dans sa composition avec le charbon de bois commun, le graphite ou la plombagine. Un diamant est du carbone pur, et le carbone brûle dans l'oxygène. J'ai ici un diamant placé dans une petite corbeille de fil de platine; je vais le chauffer au rouge au sein de cette flamme, et je le plongerai ensuite dans ce flacon plein de gaz oxygène. Voyez comme il s'illumine en entrant dans le flacon d'oxygène, il brille comme une petite étoile terrestre, d'une lumière éclatante et d'un blanc pur. Quelle idée nous formerons-nous de l'action dont nous sommes les témoins? exactement celle que faisaient naître dans notre esprit les météores tombant sur le soleil. Ces deux

idées sont en réalité les mêmes; et pour l'intelligence, l'une n'est pas plus difficile que l'autre. Vous avez à vous figurer les molécules de l'oxygène tombant de tous les côtés comme une pluie sur le diamant. Elles sont entraînées vers lui par ce qu'on appelle affinité chimique, force qui, ramenée à sa conception la plus simple, se présente à l'esprit comme une pure attraction, de même qualité mécanique, si je puis me servir de cette expression, que la gravité. Chaque atome d'oxygène, lorsqu'il rencontre l'atome de carbone et que son mouvement de translation est anéanti par le choc, prend cette autre forme de mouvement que nous appelons chaleur. Cette chaleur est si intense, les attractions exercées à ces distances moléculaires sont si puissantes, que le diamant est maintenu à la chaleur blanche, pendant que le composé formé par l'union des atomes de carbone et d'oxygène, l'acide carbonique, se dégage et s'enfuit.

Passons maintenant du diamant à la flamme ordinaire. J'ai ici un bec dont je puis faire jaillir un jet de gaz enflammé. Voici la flamme : quelle est sa constitution? Nous avons à l'intérieur de la flamme un noyau de gaz pur, non brûlé, et en dehors, tout alentour, l'oxygène de l'air. La surface extérieure du noyau de gaz est en contact avec l'air; c'est là que les atomes se heurtent les uns contre les autres et produisent par leur choc lumière et chaleur. La constitution intime de la flamme est très digne d'une attention spéciale, et nous sommes redevables de la connaissance que nous en avons à l'une des plus belles découvertes de Davy. Le gaz de la houille est ce que nous pouvons appeler un hydrocarbure; il est formé de carbone et d'hydrogène chimiquement unis. De ce gaz transparent s'échappent la suie et le noir de fumée, que nous apercevons lorsque sa combustion est incomplète. Cette suie et cette fumée, qui sont alors sous leur forme naturelle, s'unissent à d'autres substances lorsque la combustion est complète, et reprennent une forme transpa-

rente. Nous avons donc dans le jet de gaz une surface de gaz composé en contact avec l'oxygène de l'air. Nous y avons mis le feu et les attractions sont devenues tout à coup si intenses que le gaz a éclaté en flamme. L'oxygène a à choisir entre deux partenaires, ou, si vous l'aimez mieux, il est en présence de deux ennemis, et il se prendra corps à corps avec celui qui lui convient le mieux, ou qu'il hait le plus cordialement, suivant le cas. Il s'attaque d'abord à l'hydrogène, et met le carbone en liberté. Les particules solides du carbone, ainsi éparpillées en nombre innombrable au sein du gaz enflammé, deviennent fortement incandescentes; elles atteignent la chaleur blanche, et c'est principalement à elles qu'est dû l'éclat de nos lumières artificielles. Ce carbone, cependant, quant le moment sera venu, s'attaquera à son tour à l'oxygène pour devenir ou tendre à devenir de l'acide carbonique. C'est en passant de l'hydrogène, avec lequel il était d'abord combiné, à l'oxygène auquel il s'unit définitivement, alors qu'il est seul et redevenu célibataire, qu'il nous donne toute la splendeur de sa lumière.

La combustion d'une bougie ou chandelle est, en principe, la même que celle d'un jet de gaz. Voici un bâton de cire ou de suif, traversé par une mèche de coton. Vous enflammez la mèche; elle brûle, le suif se fond à sa base; ce suif fondu monte dans la mèche en vertu de l'attraction capillaire; il est converti en vapeur par la chaleur, et cette vapeur est un hydrocarbure qui brûle exactement comme le gaz. Vous avez donc partout, à l'intérieur de la vapeur non brûlée, au dehors de l'air commun, et entre la vapeur et l'air une couche neutre, sorte de champ de bataille des atomes en collision, où ils se choquent et développent en se choquant de la lumière et de la chaleur. Il serait difficile de trouver dans la nature quelque chose de plus admirable qu'une bougie allumée: le bassin creux partiellement rempli de matière fondue à la base de la mèche; la fusion lente du liquide; sa vapo-

risation; la structure de sa flamme; sa forme élancée se terminant en pointe; l'air qui afflue pour pourvoir à son entretien; sa beauté, son éclat, sa mobilité, en ont fait le type favori des êtres éthérés; et la dissection que Davy en a faite, loin de diminuer le plaisir avec lequel nous la regardons, en a fait plus que jamais, pour les esprits éclairés, une merveille de beauté incomparable. (TYNDALL, *la Chaleur considérée comme un mode de mouvement.* Cours professé à la Société Royale de Londres. Traduit de l'anglais par l'abbé Moigno. — Paris, Gauthier-Villars. — 2e Leçon.)

La théorie mécanique de la chaleur et la chimie.

Une révolution générale s'est produite dans les sciences physiques depuis trente ans, par suite de la nouvelle conception à laquelle la philosophie expérimentale a été conduite sur la nature de la chaleur : au lieu d'envisager celle-ci comme résidant dans un fluide matériel, plus ou moins étroitement uni aux corps pondérables, tous les physiciens s'accordent aujourd'hui à regarder la chaleur comme un mode de mouvement. La notion de phénomène a ainsi remplacé la notion de substance attribuée naguère à la chaleur et exprimée par le mot calorique. Cette conception nouvelle, déjà entrevue autrefois dans l'étude du frottement et du dégagement indéfini de chaleur qui peut en résulter, a été démontrée vraie par Meyer, Colding et Joule vers 1842, et établie d'une manière plus complète par Helmholtz, Clausius, Rankine et W. Thomson. Les travaux de ces savants ont prouvé d'une manière irréfragable l'*équivalence mécanique* de la chaleur, c'est-à-dire la proportionnalité entre la quantité de chaleur disparue dans les machines et la quantité de travail mécanique développé simultanément.

Ainsi il est démontré que dans les machines propre-

ment dites il existe une relation directe entre la chaleur disparue et le travail produit. Toutes les fois qu'une certaine quantité de chaleur disparaît dans un système de corps, sans pouvoir être retrouvée dans les corps environnants, on observe dans le système soit un accroissement de force vive, soit une production de travail correspondante. Réciproquement, s'il y a perte de force vive ou dépense de travail dans un système, sans que cette perte ou cette dépense s'explique par un phénomène du même ordre et corrélatif dans un autre système, on observe le dégagement d'une quantité de chaleur proportionnelle à cette diminution. Les deux ordres de phénomènes sont donc équivalents.

Ce principe d'équivalence est démontré, je le répète, par des expériences directes, lorsqu'il s'agit des forces vives immédiatement mesurables et du travail extérieur et visible des machines. On est dès lors conduit à appliquer le même principe aux changements de force vive moléculaire, et aux travaux des dernières particules des corps, changements accomplis dans un ordre de mouvements et de parties matérielles que l'on ne peut ni voir ni mesurer directement. Il s'agit en particulier de rechercher si les mouvements insensibles qui règlent les phénomènes chimiques obéissent aux mêmes lois que les mouvements sensibles des machines motrices. Mais on rencontre ici une difficulté fondamentale : les mouvements insensibles développés pendant les actions chimiques ne pouvant être ni décrits ni mesurés directement comme ceux des machines proprement dites. C'est pourquoi la question ne saurait être décidée que par voie indirecte, je veux dire par la conformité constante des expériences avec les résultats prévus par la théorie. Réciproquement, une telle conformité étant supposée établie, il en résulte cette conséquence capitale, que les travaux des forces chimiques sont ramenés à une même définition et à une même unité communes à

toutes les forces naturelles. (BERTHELOT, *Essai de mécanique chimique fondée sur la Thermochimie*, t. I, Introduction, p. XIII. Paris, Dunod.)

Affinité.

L'*affinité* est la résultante des actions qui tiennent unis les éléments des corps composés. Dans l'étude de cette résultante, on doit tenir compte des actions naturelles qui peuvent modifier, c'est-à-dire déterminer ou faciliter, soit la combinaison des éléments, soit la décomposition des corps composés. Tels sont la chaleur, l'électricité, la lumière, et même, dans certains cas, les effets mécaniques du choc ou de la pression.

Pour bien concevoir les effets développés par ces diverses actions, il convient d'observer que les particules de tout corps simple ou composé, pris spécialement dans l'état gazeux, mais aussi même dans les états solide et liquide, sont animés des mouvements multiples définis plus haut. Ces mouvements existent à la fois : dans chacune des particules composées, qui constituent les combinaisons; dans chacune des particules élémentaires, dont l'association constitue les particules composées; enfin dans chacune des particules infiniment plus petites signalées plus haut, et dont l'association constitue probablement les corps simples eux-mêmes. (BERTHELOT, *Essai de mécanique chimique*, t. I, Introduction, p. XXIV.)

Combinaisons endothermiques et exothermiques.

Jusqu'ici nous nous sommes occupé exclusivement des *combinaisons directes*, c'est-à-dire susceptibles d'être réalisées par l'action réciproque des éléments et autres composants libres; soit immédiatement, soit lentement; soit par la simple réaction des composés mis en présence, soit avec le concours d'énergies auxiliaires, empruntées

à l'échauffement, à la lumière, à l'électricité, etc. Maintenant nous allons traiter des *combinaisons indirectes*, c'est-à-dire des combinaisons qui ne peuvent être produites par l'action réciproque des composants libres. En effet, il existe deux sortes de combinaisons, déjà signalées plus haut, et sur lesquelles il convient de revenir avec plus de détails, savoir :

1° Les combinaisons dont la formation peut avoir lieu directement, sans le secours d'une énergie étrangère, et au moyen des corps composants pris à l'état de liberté. La formation de cet ordre de composés a lieu avec dégagement de chaleur. Ce sont les *combinaisons exothermiques*. Leur formation s'effectue en vertu d'un travail positif des affinités; c'est-à-dire qu'il y a *perte d'énergie*, *en passant des corps composants au corps composé.*

Réciproquement, la décomposition de ces combinaisons exige une dépense de travail, une absorption de chaleur : pour reproduire les corps primitifs, il faut restituer au système l'énergie perdue; leur *décomposition* est donc *endothermique*.

Telles sont les combinaisons de l'oxygène avec l'hydrogène, le phosphore, le carbone, les métaux; celles du chlore avec l'hydrogène et les métaux; celles des acides avec les bases, etc.

C'est cet ordre de composés, que l'on a coutume d'envisager, lorsqu'on raisonne en général sur la combinaison chimique.

2° Les *combinaisons endothermiques*, dont la décomposition directe donne lieu à un dégagement de chaleur : c'est-à-dire qu'il y a *perte d'énergie en passant du corps composé à ses composants.*

Réciproquement, la formation directe de ces combinaisons exige une certaine dépense de travail, c'est-à-dire qu'elle répond à une absorption de chaleur.

Il ne faudrait pas croire que la chaleur ainsi mise en jeu ait été absorbée par le simple fait du rapprochement

des particules élémentaires : son absorption répond à de certains travaux, effectués pour disposer ces particules suivant un arrangement spécial. On peut prendre une idée de tels composés, en les comparant à un ressort tendu; pour bander le ressort, il faut exécuter un travail équivalant à une certaine quantité de force vive, que la détente du ressort fera reparaître. Un corps composé de cet ordre renferme plus d'énergie que le simple mélange de ses composants.

C'est là un caractère commun au cyanogène, à l'acétylène, au bioxyde d'azote, tous corps qui jouent le rôle de véritables radicaux composés. Or le caractère que je viens de signaler tend à rendre compte de cette propriété de radical composé effectif, manifestant dans ses combinaisons ultérieures une énergie plus grande que celle de ses éléments libres. En effet, l'énergie de ceux-ci se trouve exaltée par l'effet de cette absorption de chaleur, au lieu d'être affaiblie, comme il arrive dans les combinaisons qui dégagent de la chaleur; et cet accroissement d'énergie rend le système comparable aux éléments les plus actifs.

Cet ordre de composés, plus rare en chimie que le précédent, se présente toutefois assez souvent et son étude offre un grand intérêt. Tels sont, par exemple, en chimie minérale, le bioxyde et les autres oxydes d'azote, l'hydrogène arsénié, le chlorure d'azote, les composés oxygénés du chlore, l'acide permanganique, etc.

Tels sont encore en chimie organique : l'acétylène, l'éthylène, le sulfure de carbone, le cyanogène, l'acide cyanhydrique, l'acide formique, etc.

Les mêmes propriétés appartiennent aussi à un grand nombre de composés, formés par l'union de deux composants plus simples avec élimination des éléments de l'eau.

Ainsi : les éthers composés dérivés des acides organiques sont formés avec absorption de chaleur; de même les amides en tant que dérivés des sels ammoniacaux.

On voit par là toute la généralité des combinaisons formées avec absorption de chaleur dans la chimie organique. Il n'est pas douteux que leur formation et leur décomposition ne jouent un grand rôle dans les métamorphoses de la matière qui s'accomplissent au sein des êtres vivants; leur décomposition en particulier peut s'effectuer sous l'influence de simples agents déterminants, sans le concours d'une énergie étrangère. Elle rend possibles, au sein des êtres vivants, des dégagements de chaleur en apparence spontanés, comme ceux que l'on observe dans les fermentations. (BERTHELOT, *Essai de mécanique chimique*, t. II, p. 18.)

Des décompositions produites par l'énergie calorifique.

1. On admet aujourd'hui que toutes les combinaisons chimiques, soumises à l'influence d'une température croissant d'une manière progressive et indéfinie, se décomposent en leurs éléments. Mais cette décomposition a lieu suivant plusieurs modes et mécanismes très divers, qu'il convient de préciser maintenant.

Examinons d'abord les gaz, dont la constitution physique est mieux connue et plus uniforme que celle des substances liquides et solides, et cherchons comment la chaleur en détermine la décomposition.

L'action décomposante que la chaleur exerce sur les gaz peut être ainsi conçue : Les gaz sont formés de particules très petites, animées d'un triple mouvement de translation, de rotation et de vibration. A mesure que la température s'élève, la vitesse de chacun de ces mouvements s'accroît, ainsi que l'amplitude des vibrations : la force vive, propre à chaque ordre de mouvements, devient ainsi sans cesse plus considérable. Cependant tant que la force vive de ces divers genres de mouvements ne dépasse pas certaines limites, la molécule composée subsiste.

Mais, à partir d'une certaine température, les chocs entre les molécules étant devenus de plus en plus violents, certains d'entre eux seront assez intenses pour séparer l'assemblage qui constitue la molécule composée, en ses molécules élémentaires.

2. Le même résultat sera encore atteint plus généralement par les deux causes suivantes : savoir, l'accroissement de la force centrifuge, qui résulte de l'accélération des rotations, et l'accroissement d'amplitude des vibrations, qui tend à rendre toujours plus grande la distance des molécules élémentaires assemblées dans chaque molécule composée.

En vertu de ces diverses réactions, les molécules élémentaires finissent par sortir de la sphère limitée dans laquelle s'exercent les actions réciproques qui les maintenaient assemblées. Une fois les molécules élémentaires ainsi séparées les unes des autres plusieurs cas peuvent se présenter.

3. *Décompositions sans limites.* — Tantôt les travaux nécessaires pour reformer le composé sont d'une nature telle qu'il ne suffise pas d'en rapprocher les éléments pour le reconstituer; soit que les éléments ne renferment plus en eux-mêmes l'énergie nécessaire (combinaisons endothermiques); soit que l'énergie nécessaire étant présente, les dispositions spéciales des particules dans le corps composé ne puissent être reproduites par une simple agitation.

Dans un cas comme dans l'autre, la décomposition, commencée à une certaine température, continuera jusqu'au bout à cette même température. Sa vitesse variera d'ailleurs, suivant le nombre de chocs accomplis dans un temps donné, suivant la grandeur de la force centrifuge, enfin suivant le nombre des vibrations d'amplitude efficace, c'est-à-dire capables d'amener la dislocation de la molécule composée. Ces diverses causes de décomposition croissant avec la température, il en sera de même

en général de la vitesse de la décomposition. Tel est le cas d'une décomposition sans limites.

4. *Décompositions limitées.* — Tantôt, au contraire, il suffit, pour reformer le composé, de ramener ses composants à une petite distance et dans une position relative convenable. Ce qui arrive nécessairement pour un certain nombre de particules au moment des chocs et pendant les vibrations. Ainsi une certaine proportion du composé sera incessamment régénérée, au moment même où une autre portion sera détruite. Dans ces conditions, la vitesse de la décomposition, aussi bien que celle de la combinaison, dépendent à la fois du nombre des chocs et de la force vive des particules tant simples que composées. D'ailleurs les progrès incessants de la décomposition finissent nécessairement par établir un équilibre entre les deux actions contraires, c'est-à-dire un état tel que la proportion du composé, régénérée à chaque instant, soit égale à la proportion détruite dans le même temps.

On voit par là qu'il ne saurait exister de décomposition limitée, sans qu'il se produise une réaction inverse; celle-ci étant déterminée : soit par un abaissement dans la température (décomposition et recomposition de l'eau), soit par une variation dans la pression, soit par un changement dans les proportions des corps réagissants (réactions éthérées, réactions des carbures pyrogénés). Toutes les fois qu'une de ces circonstances existe, et dans tout l'intervalle de température où elle se présente, la décomposition est nécessairement limitée.

On conçoit, d'ailleurs, que la relation entre la proportion qui subsiste à chaque température, et cette température même puisse être fort diverse; attendu qu'elle ne dépend pas seulement du nombre des chocs, mais aussi de la variation de la force vive due aux rotations et aux vibrations. En général, la proportion du composé qui subsiste devra diminuer, à mesure que la température

s'élève. On conçoit même que l'amplitude des mouvements vibratoires atteigne une valeur assez grande, à partir d'une certaine température, pour que toute combinaison devienne impossible ; auquel cas l'existence d'une décomposition sera renfermée entre deux limites de température, plus ou moins écartées.

Cependant on conçoit *a priori* qu'il n'en soit pas toujours nécessairement ainsi, c'est-à-dire qu'une certaine proportion du composé subsiste à toute température ; cette proportion tendant seulement à décroître indéfiniment, à mesure que la température s'élève davantage. (BERTHELOT, *Essai de mécanique chimique*, t. II, p. 35.)

CHAPITRE II

LES NOUVEAUX CORPS SIMPLES

La découverte du potassium et du sodium.

Sur quelques nouveaux phénomènes de changements chimiques produits par l'électricité, particulièrement la décomposition des alcalis fixes et la séparation des substances nouvelles qui constituent leurs bases, et sur la question des alcalis en général, par M. Davy.

Davy se servait des batteries voltaïques de l'Institution Royale, contenant 24 plaques carrées cuivre et zinc de 12 pouces de côté; 100 plaques de 6 pouces; et 150 de 4 pouces, chargées avec des solutions d'alun et d'acide nitreux [1].

Il essaya d'abord la solution de potasse, mais il n'eut que de l'hydrogène avec beaucoup de chaleur et une violente effervescence.

Après d'autres essais, il fut conduit à employer la potasse rendue humide par un court séjour à l'air.

On prit, dit-il, un petit morceau de potasse pure qui avait été exposé pendant quelques secondes à l'atmosphère, de manière à acquérir la faculté conductrice à sa surface; on le plaça sur un disque isolé de platine, mis

1. Une partie de ces batteries se trouvait à l'Exposition universelle de 1889, dans les galeries de l'Histoire du travail, au Palais des Arts libéraux. — J. G.

en communication avec le côté négatif de la batterie de 250 plaques de 6 et 4 pouces, dans un état de grande activité : on amena en contact avec la surface supérieure de l'alcali un fil de platine, communiquant avec le côté positif. Tout l'appareil était exposé à l'air libre.

On ne tarda pas à voir se manifester une action très vive. La potasse commença à fondre aux deux points d'électrisation. Une effervescence violente se montrait à la surface supérieure : à la surface inférieure ou négative on ne voyait aucun dégagement de fluide élastique, mais on découvrait de petits globules qui avaient un éclat métallique très brillant, et qui ressemblaient tout à fait à du mercure; quelques-uns brûlaient avec explosion et flamme vive à l'instant où ils étaient formés; d'autres subsistaient, mais ne tardaient pas à être ternis, et finalement couverts par un enduit blanc qui se formait à leur surface.

De nombreux essais me montrèrent bientôt que ces globules n'étaient autre chose que la substance que je cherchais et un principe inflammable particulier, la base [1] de la potasse....

.... La soude, soumise au même procédé que la potasse, montra un résultat analogue, mais sa décomposition exigeait une plus grande intensité d'action dans les batteries; ou bien que l'alcali fût en morceaux plus petits et plus minces....

La substance produite par la potasse demeurait fluide à la température de l'atmosphère, au moment de sa production; celle qui provenait de la soude était fluide à la température acquise par l'alcali pendant sa formation; mais elle devenait solide en se refroidissant, et prenait la couleur et le lustre de l'argent....

1. Il est à peine besoin de faire remarquer que le mot *base* est employé ici dans le sens de *radical.* Lavoisier, qui, on l'a vu plus haut, avait prévu la décomposition de la potasse et de la soude, avait déjà employé ce mot *base* dans le même sens. — J. G.

Davy remarque que le gaz dégagé au pôle positif était de l'oxygène pur, et qu'il n'y avait aucun gaz au pôle négatif, à moins qu'il n'y eût de l'eau en excès dans l'appareil.

Il remarque de plus que la croûte blanche formée sur les globules métalliques à l'air était de la potasse pure, et il conclut nettement que la potasse et la soude sont formées chacune d'oxygène et d'une base combustible spéciale, comme l'avait prévu Lavoisier.

Davy étudie ensuite les propriétés et la nature de la base de la potasse.

Il trouve que les globules obtenus à 60° F. (13°,3 C.) ressemblent beaucoup à du mercure, qu'à 100° F. (37°,8 C.) leur fluidité est parfaite, à 50° F. (10° C.) cette matière devient un solide mou et malléable qui a le lustre de l'argent poli. Vers la température de la glace, cette substance devient dure, fragile, à cassure cristalline. Sa densité est à celle du mercure comme 10 est à 223, soit les 0,6 de celle de l'eau [1]. Cette substance forme ainsi avec le mercure un amalgame qui devient solide et cassant si on augmente la proportion du métal. Cet amalgame décompose l'eau rapidement et avec sifflement; la potasse se forme, il se dégage de l'hydrogène pur et le mercure demeure libre. Cette base de la potasse réduit promptement les oxydes métalliques, prend l'oxygène et met le métal en liberté.

Quant à la base de la soude, Davy en détermine la densité en remarquant qu'elle flotte dans l'huile de sassafras de densité 1,096, qu'elle tombe au fond du naphte de densité 0,861 et qu'elle reste en équilibre dans un mélange de 12 de naphte et de 5 d'huile de sassafras, ce qui donne pour sa densité 0,9348 (au lieu de 0,97 trouvé depuis).

Il étudie ensuite les proportions de ces bases et d'oxygène dans la potasse et dans la soude par deux moyens :

1° En cherchant directement le volume d'oxygène absorbé par un poids déterminé de ces bases;

2° En décomposant l'eau par un amalgame de ces bases préparé sous le naphte, afin que la décomposition de l'eau soit plus lente qu'avec ces bases pures. Il mesure l'hydrogène dégagé, d'où il déduit l'oxygène mis en liberté et combiné avec

1. On a trouvé, depuis, 0,86.

ces bases. Il trouve ainsi par la première méthode : 86, 1 p. 100 de la base et 13,9 d'oxygène dans la potasse, 80 p. 100 de la base et 20 d'oxygène dans la soude ; et par la seconde méthode : 84 p. 100 de la base et 10 d'oxygène pour la potasse ; 76 p. 100 de la base et 24 d'oxygène pour la soude, au lieu de 83 p. 100 et 17 p. 100 pour la potasse ; 74, 2 et 25,8 pour la soude.

Puis il continue ainsi :

Les bases de la potasse et de la soude doivent-elles porter le nom de métaux? Le plus grand nombre des chimistes auxquels cette question a été adressée a répondu par l'affirmative. Ces bases ressemblent aux métaux par l'opacité, l'éclat, la malléabilité, la faculté conductrice de la chaleur et de l'électricité ; enfin par leur disposition aux combinaisons chimiques. Je me suis donc hasardé à désigner ces deux substances nouvelles par les noms de *Potassium* et de *Sodium*. (Davy, *Extrait de la Bibliothèque Britannnique. — Annales de chimie*, t. LXVIII, p. 203, année 1808.)

Paris, 1811.

.... Examinez bien, je vous en conjure, mon cher Bonjour (car c'est à vous que je viens d'écrire tout cela, et non à Bredin, qui secoue la métaphysique comme la poussière de ses pieds), examinez ce tableau [1] en le comparant, pour le bien comprendre, à ce que je vous ai laissé sur ce sujet, puis dites-moi oui ou non, avec vos motifs, si vous avez le temps ; mais toujours oui ou non, soit sur le nouveau phénomène introduit dans le tableau, soit sur les deux changements de dénomination du jugement et de la contuition.

Tâchez d'engager Bredin à en conférer avec vous, décidez à vous deux ; mais que Bonjour me fasse part le plus tôt qu'il lui sera possible de la décision de ce tri-

1. Probablement un tableau de la classification des connaissances humaines, sujet dont Ampère s'est longuement occupé. — J. G.

bunal. Pour l'y engager, si ce n'est pas assez du plaisir qu'il fera à un pauvre malheureux qui n'a plus de plaisir dans le monde que celui de recevoir des lettres de Lyon, on lui dira que la décomposition de la potasse et de la soude, oxydes de deux nouveaux corps combustibles métalliques, découverts par M. Davy à Londres, est attaquée par quelques mauvaises raisons fondées, suivant moi, sur des mésentendus, quoique les expériences aient complètement réussi à Paris. J'ai vu débrûler et rebrûler ces substances métalliques; elles brûlent avec des étincelles rayonnantes semblables à celles du zinc brûlant, ce qui me paraît prouver complètement la fausseté de l'hypothèse qu'on oppose à la découverte de M. Davy, en disant que la potasse, corps simple, se combine avec l'hydrogène, et que c'est cette combinaison qui offre le brillant métallique qu'on prend pour un métal. Cette hypothèse qui semble un réchauffé de celle de Kirwan, combattue dans le temps par Lavoisier et Berthollet, savoir que l'hydrogène était le phlogistique et entrait comme élément dans tous les métaux, n'a pas laissé que d'être accueillie comme probable par la plupart des chimistes, même par Thénard.

Adieu, mon cher ami, je vous embrasse de toute mon âme. (AMPÈRE, Extrait d'une lettre datée de 1811 à ses amis intimes Bonjour et Bredin, de Lyon. — *Correspondance et Souvenirs*, t. I, p. 82. — VALSON, *la Vie et les Travaux d'A.-M. Ampère*, p. 262.)

La découverte de l'iode.

Paris, 11 mars 1814.

Je sais, mon cher ami, que vous craignez de m'écrire de peur que ma réponse ne soit accompagnée d'un tableau de métaphysique. Ah! soyez sans crainte à cet égard : je n'ai plus le temps d'y penser, et une de vos lettres me ferait plaisir.

Depuis que j'ai quitté Nogent, voilà bientôt six mois, je n'ai pas songé deux heures à la métaphysique. Mes conversations avec M. Davy m'avaient donné une impulsion des plus grandes pour la chimie. Je me suis occupé environ deux mois d'un travail dont le résultat me semblait devoir ouvrir dans cette science une nouvelle carrière et donner le moyen de prévoir *a priori* les rapports fixes suivant lesquels les corps se combinent, en rapportant leurs diverses combinaisons à des principes qui seraient l'expression d'une loi de la nature, dont la découverte sera peut-être, après ce que j'ai fait l'été passé en métaphysique, ce que j'aurai conçu de plus important dans toute ma vie. Je dis « après ce que j'ai fait en métaphysique », parce que cette dernière science est la seule vraiment importante ; car la théorie des combinaisons chimiques est bien autrement claire et incontestable, et deviendra une chose aussi usuelle dans les sciences physiques que les autres théories généralement admises. J'y ai travaillé avec beaucoup d'ardeur; mais, comme un pareil travail ne pouvait me faire un titre pour une place de mathématicien à l'Institut, je l'ai quitté pour faire des mémoires de mathématiques qui avancent peu, tant parce que je pense encore malgré moi à la chimie que parce qu'il m'est survenu toutes sortes d'ennuis et de chagrins qui ne me permettent presque plus de captiver mon esprit. En attendant, on a remis la nomination du successeur de l'abbé Bossut à six mois, ce qui me donne le temps d'acquérir des titres [1]. Vous savez toutes les belles choses qu'on a faites sur l'iode! *qui s'est trouvé un quatrième oxygène, comme je l'avais conjecturé le premier.* Cette substance a toutes les propriétés du chlore, ci-devant acide muriatique oxygéné, et n'en diffère que parce qu'elle est solide et semblable à de la mine de

1. Ampère fut nommé en effet quelques mois après, à la place de Bossut, au premier tour de scrutin. — J. G.

plomb à la température ordinaire; elle passe à l'état d'un gaz d'une superbe couleur violette à une chaleur inférieure à celle de l'eau bouillante. Tout ce qu'on a fait sur cette substance semble enfin avoir convaincu nos chimistes que le chlore est, comme elle, un corps simple, analogue par ses propriétés à l'oxygène, mais qui n'en contient pas plus que les corps combustibles simples ne contiennent de l'hydrogène. Vous savez que les adversaires de Lavoisier avaient prétendu cette dernière chose: ils ne se trompaient certes pas plus que ceux qui voudraient encore admettre de l'hydrogène dans le chlore, l'iode et le fluor ou fluorine. Je ne sais pas de quoi je vais vous parler, mais heureux qui peut s'occuper de tout cela, au lieu de penser aux malheurs de l'Europe dont je suis atterré. Avais-je tant de tort de redouter que la France fût envahie? Comme elle tend les mains à ses futurs oppresseurs!

Mon ami, donnez-moi de vos nouvelles, et comptez de ma part sur une amitié à toute épreuve. (A.-M. AMPÈRE, Lettre à M. Roux, de Genève. — *Correspondance et Souvenirs*, t. I, p. 84. — VALSON, *la Vie et les Travaux d'A.-M. Ampère*, p. 264.)

Peu après, Gay-Lussac publia dans les *Annales de chimie* (t. XCI) le résultat de ses expériences sur l'iode. Ampère, avant lui, s'était rendu compte de la nature de cette substance, mais, distrait par d'autres travaux, il avait laissé ses recherches inachevées sans en publier les premiers résultats. La lettre suivante, écrite à l'un de ses plus chers amis de Lyon, le philosophe Ballanche, en même temps qu'elle témoigne de l'impression considérable faite sur les chimistes par la publication du célèbre mémoire de Gay-Lussac, fait connaître Ampère tout entier.

Du 3 septembre 1814.

Mon ami, je n'aurais jamais dû venir à Paris. Pourquoi ne suis-je pas resté toute ma vie professeur de chimie à

Bourg ou à Lyon! c'était la seule chose qui eût convenu à ma tranquillité et à mon bonheur. Avec *Elle* [1] je serais devenu un grand homme, mais il n'est plus temps!! Heureux ceux qui cultivent une science à l'époque où elle n'est point achevée, mais quand sa dernière révolution est mûre! La voilà faite entièrement par Gay-Lussac, qui termine l'ébauche créée par le génie de Davy [2], mais que j'eusse infailliblement faite, que j'ai faite réellement le premier; malheureusement je ne l'ai pas publiée à temps. Que m'importe, au reste! L'épreuve est courte sur la terre; voilà ce qui doit consoler de tout. Qu'ai-je recueilli de mes dix ans passés à Paris? Des sujets de peines éternelles!

Nous riions de si bon cœur à Lyon! Mais ici on ne rit pas.

Je vais me remettre aux mathématiques. J'éprouve une certaine difficulté d'abord, mais la première répugnance vaincue, le charme revient quand je puis écarter toute autre pensée et m'y consacrer uniquement, absolument uniquement; je voudrais ne plus quitter les calculs. J'espère avoir encore bientôt une autre occupation comme membre d'une académie psychologique formée par MM. de Gérando, de Biran, G. Cuvier, son frère Frédéric, Guizot, secrétaire général de l'Intérieur; Fauriel, traducteur de la *Parthénéide*; Royer-Collard, le conseiller d'État; Durivaux, Maurice Genevois, directeur des études à l'École polytechnique. Demande là-dessus des renseignements à Camille (Jordan), car il est le premier correspondant de la liste.

Adieu, bien cher et bon ami, je t'embrasse un million de fois. (A.-M. AMPÈRE, Lettre à Ballanche. — *Correspondance et Souvenirs*, t. I, p. 87, et VALSON, *la Vie et les Travaux d'A.-M. Ampère*, p. 265.)

1. Mme Ampère, née Julie Carron, morte en juillet 1804. — Voir *Journal et Correspondance* d'A.-M. Ampère. — J. G.

2. Davy avait soutenu contre Thénard que le chlore était un corps simple. La découverte de l'iode était venue confirmer cette opinion. — J. G.

La découverte de l'iode et du cyanogène.

Les vues que cette controverse avait fait naître, devinrent très utiles à Gay-Lussac, lorsque, vers la fin de 1813, son attention se porta sur une nouvelle substance, qu'un manufacturier français, M. Courtois, avait découverte dans les lessives de varechs. Le 6 décembre, il lut à l'Institut un court mémoire, dans lequel il établissait ses propriétés distinctives, et la désignait, comme substance simple, par le nom d'*iode*, en anglais *iodine*, qui lui est resté. Ayant reconnu, dès ces premières épreuves, son analogie avec le chlore, il l'avait engagée aussitôt dans une multitude de combinaisons parallèles, où elle porta des caractères semblables. Il l'avait combinée de même avec l'hydrogène, et en avait obtenu ainsi un acide puissant, qu'il appela *hydriodique*, s'autorisant de ce nouveau fait, pour se rallier ouvertement au mode d'interprétation qu'il avait voulu d'abord adopter, dans le cas du chlore. Quinze jours après, le 20 décembre, il annonça qu'il était parvenu à combiner aussi l'iode avec l'oxygène, d'où résultait un deuxième acide, qu'il appelait l'*iodique*. Ceci pouvait paraître un aperçu contestable; il le confirma plus tard, par une autre voie. Dans l'intervalle de ces deux communications, Davy se trouvait à Paris, son génie lui ayant servi de titre à un passeport exceptionnel. On vit alors un bel exemple d'émulation scientifique. On lui avait donné quelque peu de la nouvelle substance. Il en fit des essais en petit, avec cette adresse ingénieuse qui lui faisait trouver, dans les moindres objets, des instruments d'expérimentation. A la prière de ses amis, au nombre desquels étaient ses émules, il consigna le résumé de ses observations, dans une note, qui fut lue à l'Institut le 13 décembre, après la première et avant la seconde communication de Gay-Lussac. Tous deux, depuis, continuèrent à s'occuper de ce sujet, pendant l'année sui-

vante, avec une égale activité d'esprit, mais dans des conditions de travail bien différentes. Davy, devenu riche par un mariage récent, se rendait avec sa femme en Italie. Quelques instruments de précision et de manipulation, quelques réactifs chimiques bien purs, les plus indispensables, lui composaient un laboratoire portatif, qui le suivait partout, et lui suffisait. Il n'avait à sa disposition qu'une petite quantité d'iode, et ne pouvait donner aux expériences que les moments de loisir d'un voyage d'agrément. Mais sa pensée y était toujours. Des trois mémoires qu'il adressa à la Société Royale, au sujet de l'iode, le premier est daté de Paris, le second de Florence, le troisième de Rome [1]. Ce dernier est du mois de février 1815. Il contient la découverte de l'acide iodique, à l'état solide et cristallisé, tandis que Gay-Lussac ne l'avait obtenu qu'en dissolution dans l'eau, ou en combinaison avec des bases, de manière à en donner toutefois l'analyse exacte. Du reste, par une conséquence naturelle, ces mémoires de Davy offrent une riche collection de faits détachés, habilement vus, plutôt qu'un travail d'ensemble. Gay-Lussac, mieux pourvu de matière, d'instruments, et de temps, effectua ce travail dans les sept premiers mois de 1814 [2]. Guidé par l'analogie qu'il avait reconnue entre le chlore et l'iode, il développa savamment et patiemment ce parallèle. Il suivit la nouvelle substance dans toutes ses combinaisons, acides, salines, métalloïdes, éthérées, dont il assigna la composition; et il fixa toutes ses propriétés spéciales, si exactement, que l'on a pu seulement, depuis, étendre les résultats qu'il avait obtenus, ou perfectionner les procédés qu'il avait employés, sans rien trouver à

1. *Transactions philosophiques* pour 1814, p. 74, daté de Paris, 10 décembre 1813, lu à la Société Royale; 20 janvier 1814; même volume, p. 487, daté de Florence, 23 mars 1814, lu à la Société Royale, 16 juin 1814. — *Trans. Philos.* pour 1815, p. 203, daté de Rome, 10 février 1815, lu à la Société Royale, 20 avril 1815.

2. Son mémoire fut lu à l'Institut, le 1er août 1814.

reprendre à ses déterminations. Étant parvenu à extraire l'acide iodique des iodates, le même sentiment de correspondance le conduisit à extraire pareillement l'acide chlorique des chlorates, d'où on ne l'avait pas encore retiré; et il en donna l'analyse exacte en proportions de poids, ainsi que de volumes. Son mémoire, inséré au tome XCI des *Annales de chimie*, présente un remarquable ensemble de toutes les connaissances physiques et chimiques, appliquées à l'étude d'un nouveau corps, avec une sûreté de jugement, et une finesse de tact, qui ne laissent rien d'incertain ou d'inexploré. Il est aussi complet et parfait qu'un travail chimique peut l'être, à son temps donné. C'est là que Gay-Lussac donna le premier exemple de l'emploi qu'on peut faire de la *loi des volumes*, pour conclure, par induction, la densité des vapeurs des corps, que l'on ne sait pas vaporiser matériellement. Il se servit de cette méthode pour calculer la densité de la vapeur de l'iode qui n'était pas encore connue; et l'expérience a confirmé depuis cette détermination, si hardie alors.

Un an plus tard, en 1815, Gay-Lussac mit le sceau à sa réputation de chimiste, par la découverte de l'azoture de carbone,ou *cyanogène*. Indépendamment d'une multitude de faits nouveaux qu'elle a donnés, et de la lumière qu'elle a jetée sur beaucoup de points jusqu'alors obscurs, cette découverte a été d'une haute importance pour la science chimique, sous deux rapports. D'abord, parce qu'elle a offert le premier exemple d'un corps composé, qui porte et garde, dans ses combinaisons, les caractères de simultanéité que l'on avait cru jusqu'alors appartenir aux substances réputées simples; en outre, parce que, venant après la découverte de l'iode, et après l'hypothèse sur la simplicité du chlore, elle acheva de montrer avec évidence que l'oxygène n'entre pas comme élément nécessaire, dans la composition des corps qui possèdent les propriétés d'un acide ou d'un sel. Gay-Lussac étudia ce nouveau produit, dans toutes ses phases de combinaisons

et d'isolement [1] : il détermina toutes ses propriétés physiques et chimiques immédiates. Il définit rigoureusement sa composition, par deux procédés d'analyse précis et divers : d'abord en le faisant détoner dans l'eudiomètre de Volta; puis en le brûlant par le bioxyde de cuivre, ce qui était un perfectionnement considérable de la méthode qu'il avait antérieurement imaginée avec M. Thénard, pour analyser les matières organiques par voie de combustion. Il développa alors toutes les particularités de constitution, tant du cyanogène même, que de ses combinaisons, dans leurs rapports avec la loi des volumes qu'il avait découverte. On retrouve, dans ce beau travail, toutes les excellentes qualités d'esprit qu'il avait montrées dans l'étude de l'iode. Mais la sagacité et la sûreté avec lesquelles il sut saisir les caractères si imprévus du nouveau produit qu'il avait formé, complétèrent l'idée que l'on avait conçue de son mérite, en y ajoutant la gloire d'un inventeur pénétrant et prudent.

Ici, il donna le second exemple pratique de la loi des volumes employée pour calculer la densité des vapeurs des corps non vaporisables. Les nombreuses vérifications qu'il en avait faites sur les composés divers des corps gazeux, lui ayant inspiré toute confiance dans ses applications, il eut la hardiesse d'en conclure la densité *que devait avoir* la vapeur du carbone, laquelle se trouvait être un élément commun à toute la série des produits qu'il avait à étudier. Il l'inféra de la composition de l'acide carbonique, en supposant que 1 volume de ce gaz renferme 1 volume d'oxygène, plus 1 volume de vapeur de carbone, sans condensation; et le nombre ainsi obtenu lui servit ensuite avec succès, pour exprimer tous ses autres produits par des rapports simples de volumes, d'où résultait leur composition pondérale. Évidemment, la certitude de ce genre d'induction n'est pas absolue, puisqu'elle se

1. *Annales de chimie*, t. XCV, p. 136 et suiv.

fonde sur le rapport de contraction ou d'expansion que l'on attribue aux vapeurs composantes, dans les vapeurs composées, en leur appliquant de plus la loi de Mariotte qui ne s'y adapte pas avec une entière rigueur. Mais, sauf ce dernier inconvénient, qui est inévitable, le rapport supposé devient d'autant plus probable, qu'on l'établit, dans chaque cas, sur des analogies de combinaisons plus intimes. D'ailleurs, d'après le principe général de la loi, si le nombre représentatif de la densité auquel on est conduit, n'est pas le véritable, il en sera toujours approximativement un multiple simple; ce qui permettra de l'introduire dans la série des combinaisons, sans dénaturer leurs relations essentielles. Cette extension donnée par Gay-Lussac à la théorie des proportions définies, a été une des innovations les plus hardies et les plus fécondes que l'on ait apportées, de nos jours, dans la science chimique.

Poursuivant toujours la même vue, il montra peu après, dans une courte note, comment des corps composés, physiquement très divers, étant considérés à l'état de gaz, peuvent être idéalement constitués par des groupes de vapeurs représentant d'autres corps, toujours les mêmes, mais assemblés en nombres divers et simples, de volumes gazeux [1]. Cette conception est reconnue aujourd'hui comme la seule rationnelle et générale, par laquelle on puisse exprimer et mettre en évidence les rapports de composition des substances organiques entre elles. Il ne faut pas imputer à ce principe l'abus qu'on en a pu faire, en prenant, contre l'intention de son auteur, ces possibilités de représentation pour des réalités absolues, comme cela est arrivé trop souvent. (Biot, *Mél. scient. et litt.*, t. III, p. 137.)

1. *Annales de chimie,* t. XCV, p. 311.

La découverte du brome.

Comme dans la plupart des cas, le hasard fit peu, la logique presque tout, dans le bel ensemble de travaux dont cette découverte devenait la plus haute consécration. Dans les premières années de ce siècle, un industriel, exécutant quelque manipulation chimique sur les produits provenant d'une plante marine des côtes de l'Océan, vit s'élever une vapeur violette; c'est là toute la part du hasard dans le cycle scientifique, plein d'intérêt, dont cet accident fut le premier terme. Cette vapeur annonçait un nouveau corps simple, c'est-à-dire de ceux que la chimie ne décompose pas : c'était l'iode, que Gay-Lussac mit à sa vraie place et dont cet illustre chimiste fit connaître les rapports et les propriétés avec une logique irrésistible et une exactitude définitive. L'iode était un élément voisin du chlore que Scheele avait retiré au siècle dernier du sel marin; leurs tendances étant les mêmes, il n'y avait point à s'étonner de les rencontrer réunis dans une même production marine.

Les plantes qui vivent dans la Méditerranée contiendraient-elles de l'iode, comme celles qui végètent au sein de l'Océan? Telle est la question que se posait, il y a près de soixante ans, le jeune Balard et qui fut l'objet de son premier travail. Il soumit à l'analyse nombre de productions méditerranéennes, des plantes, des mollusques, des polypiers, et partout il constatait la présence de l'iode.

Cependant, une plante qui se rencontre près de Montpellier, dans les eaux d'un canal, tantôt au-dessus de l'écluse au milieu de l'eau douce, tantôt au-dessous au milieu de l'eau saumâtre, ne lui présentait jamais d'iode dans le premier cas et lui en offrait toujours dans le second. L'eau de la Méditerranée devait donc en contenir; il en découvrit, en effet, dans le liquide concentré qui

reste au fond des marais salants, lorsque l'eau de la mer qui s'y évapore a laissé cristalliser tout son sel.

Le chlore, plus énergique que l'iode, le chasse de ses combinaisons et prend sa place. En agissant sur les eaux concentrées des marais salants par des additions lentes de chlore, on en séparait l'iode, mais le liquide se colorait et conservait une teinte jaune. Que signifiait cet indice? On pouvait l'attribuer à la formation de quelques traces d'un composé de ces deux corps. Combien de chimistes se fussent satisfaits de cette explication! Balard, esclave de la vérité, voulut extraire de ce produit indéterminé le chlore et l'iode en nature, avant d'affirmer qu'il constituait un composé de ces deux éléments. Heureux scrupule, qui lui évita le chagrin d'avoir tenu dans ses mains un corps simple nouveau, de l'avoir méconnu et d'éprouver le mécompte pénible, survenu à un illustre chimiste allemand, M. Liebig, qui, presque en même temps que lui, entrevoyant les mêmes phénomènes, passait à côté d'eux, sans en soupçonner l'importance!

Les ressources de laboratoire manquaient à M. Balard pour extraire en grande quantité des résidus des marais salants le produit qu'il y avait signalé; mais la nécessité est un puissant aiguillon. Notre confrère trouva bientôt un moyen ingénieux, les connaisseurs diraient même une méthode élégante, pour enlever en quelques minutes, sans appareil ni dépense, la nouvelle substance à l'eau qui la retenait dissoute et mêlée de beaucoup d'impuretés qu'il fallait en séparer. En agitant la masse aqueuse avec de l'éther qu'elle ne dissout pas et qui par le repos remontait à sa surface, la substance problématique ramassée par l'éther se retrouvait seule, pure et concentrée, dans ce liquide d'où il était facile de la retirer.

Malgré des ressemblances trompeuses, le jeune préparateur d'Anglada avait donc constaté que cette substance n'était pas formée de chlore et d'iode; il avait cru même y reconnaître un corps simple nouveau et il avait consigné

ce premier aperçu dans un paquet cacheté déposé entre les mains de l'Académie. Deux années s'écoulèrent, pendant lesquelles, sans impatience, mais toujours à l'œuvre, il en prépara l'histoire avec une attention scrupuleuse. Il en transmit alors l'exposé à l'Académie, et M. Bérard, qui avait suivi ses travaux avec la plus vive sollicitude, vint à Paris dissiper tous les doutes. Je vois encore avec quel empressement curieux on faisait passer de main en main, dans les rangs de nos anciens confrères, le petit tube scellé qui renfermait un échantillon de ce nouveau venu, découvert au fond de la province par un jeune élève en pharmacie, non comme un don banal du hasard, mais comme un fruit légitime de la méthode scientifique. Ce fut un événement. Une substance élémentaire de plus n'était pourtant pas pour la science une acquisition bien surprenante, lorsqu'elle en comptait déjà près de soixante, mais celle que M. Balard faisait connaître se plaçait parmi les plus remarquables, et le temps n'a pas diminué l'intérêt qu'elle inspira dès son apparition.

Gay-Lussac, à qui cet honneur revenait de droit, ayant vérifié les expériences de l'auteur, l'Académie décida que le nouveau corps recevrait le nom de *brome*. Liebig en Allemagne, G. de la Rive à Genève, H. Davy en Angleterre, s'empressèrent d'ajouter leur suffrage à celui de l'Académie. Les sociétés savantes adoptèrent le jeune chimiste à titre de correspondant; la Société Royale de Londres, illustre entre toutes, le jugea digne d'une de ses grandes médailles royales. Rien ne manquait à la gloire de Balard, pas même la double satisfaction d'avoir rempli un devoir en offrant loyalement à son maître Anglada de partager cette gloire, et d'avoir trouvé en lui un cœur assez noble pour la laisser tout entière à celui qui l'avait méritée.

Pourquoi la découverte du brome causait-elle une si vive émotion dans le monde savant? C'est que, tandis

qu'on trouve assez fréquemment certains éléments dont les caractères indécis n'ajoutent rien au fonds commun des idées acquises, ceux qui ouvrent à la science de nouveaux horizons par leurs propriétés exceptionnelles se montrent rarement. Dans le premier cas, le chimiste ressemble un peu à l'astronome découvrant entre Mars et Jupiter une de ces petites planètes qui se comptent par centaines et dont l'existence ne trouble en rien la marche de ses imposantes voisines. Dans le cas du brome, de l'aluminium, ainsi que dans la brillante découverte du gallium, métal dédié à la France par un de ses plus dignes enfants, le chimiste se rapproche, au contraire, de l'astronome qui découvre une de ces planètes d'importance, dont la masse intervient dans l'équilibre de notre système solaire : Uranus ou Neptune.

La découverte de M. Balard soulevait, en effet, une question d'équilibre parmi les éléments chimiques. Le brome ne venait-il pas se placer si exactement entre le chlore et l'iode, que, sans l'avoir jamais vu, on aurait pu écrire son histoire, en prenant un moyen terme entre les propriétés de ses deux compagnons, de même que Le Verrier avait pu prédire les propriétés de Neptune en tenant compte des perturbations d'Uranus? Les caractères communs à ces trois éléments jumeaux, leur parallélisme absolu, l'exactitude des nuances de passage de l'un à l'autre qui en font trois échelons d'une même échelle, ne donnaient-ils pas à l'histoire véridique du brome tout l'attrait d'un roman qu'une imagination fertile eût inventé pour l'amusement des chimistes! Il n'est pas un professeur qui n'ait reconnu avec quelle satisfaction son auditoire aime à le suivre lorsqu'il justifie par des expériences décisives ces analogies évidentes, ces différences prévues, ces rapports logiques qui existent entre le chlore, le brome et l'iode.

La chimie se transforme, en s'enrichissant de nouveaux faits de cet ordre; elle perd ainsi le caractère d'une

science dont les détails s'adressaient à la mémoire, pour devenir une science dont les principes relèvent du raisonnement. Elle revêt le caractère mathématique, et depuis que les conséquences de la découverte du brome se sont développées, le chimiste, comme l'astronome lui-même, peut prédire l'existence d'éléments inconnus encore, déterminer leur place dans l'ordre naturel et préciser avec certitude toutes leurs propriétés.

Pour la première fois, on voyait apparaître alors, sur la scène du monde chimique, l'idée sérieuse de l'existence des familles parmi les éléments. Une nouvelle classification des corps simples, fondée sur l'ensemble de leurs caractères, menaçait de faire tomber dans l'oubli les classifications artificielles jusqu'alors admises. Le chlore, le brome, l'iode, offraient le type d'une famille naturelle aussi incontestable que celles qu'on citerait parmi les mieux caractérisées dans le monde des êtres organisés. Si notre puissance d'investigation ne va pas encore jusqu'à découvrir l'origine de ces trois corps, leurs ressemblances sont telles du moins et le brome se place si exactement entre les deux autres, qu'on ne s'avisera jamais de nier leur parenté et qu'on sera toujours tenté de leur assigner une commune souche.

Les esprits chagrins, qui souffrent des succès d'autrui, ne manquaient pas de dire : Après tout, ce n'est qu'un élément de plus, et, quant à son histoire, l'inventeur n'a eu qu'à suivre, pas à pas, celle du chlore ou de l'iode; le chemin était tout tracé. Eh bien! à un demi-siècle de distance, celui qui relit aujourd'hui le beau mémoire de M. Balard demeure frappé, comme on le fut alors, de la justesse d'esprit dont l'auteur y faisait preuve et de la finesse des raisonnements qui l'avaient conduit à conclure qu'il avait entre les mains un corps simple nouveau, même avant de l'avoir isolé et vu. S'il le compare ensuite constamment au chlore et à l'iode, n'est-ce pas là précisément le côté pénétrant de sa découverte et ce qui lui

donne son importance aux yeux de la philosophie naturelle? Ceux qui, par leurs critiques, cherchaient à diminuer le jeune inventeur, étaient des myopes; ils ne voyaient pas éclore une chimie de l'avenir.

La découverte du brome constitue le point de partage entre deux époques de l'histoire de la chimie. Avant qu'il eût été signalé, les éléments étaient considérés comme indépendants les uns des autres; c'est surtout depuis qu'il est connu qu'on a vu, sans incertitude, qu'ils se rangeaient par familles naturelles, et que, lorsque celles-ci étaient incomplètes encore, on pouvait, non seulement prévoir la découverte de l'élément ignoré dont la place restait inoccupée, mais en prédire toutes les qualités.

Si une expérience de hasard avait appris à un simple salpêtrier que les plantes de l'Océan contiennent de l'iode, le raisonnement, à son tour, et le raisonnement seul, avait donc conduit M. Balard à le retrouver dans celles de la Méditerranée, à supposer sa présence dans l'eau de la mer, à la constater dans les résidus des marais salants, à y découvrir le brome doué des mêmes affections que le chlore et l'iode, à constituer avec eux la première des familles naturelles de la chimie, à faire pressentir au philosophe une origine commune à ces trois substances et à le mettre ainsi en face du grand problème de la constitution de la matière et de la conception même du monde physique. C'est ainsi que, sur le chemin ouvert de la science, quelque misérable que soit le gîte d'où il part, les pas du voyageur le mènent toujours droit au seuil du temple fermé où réside l'Infini.

Par cette mémorable découverte, le nom de M. Balard, encore élève en pharmacie et à peine âgé de vingt-quatre ans, se trouvait tout d'un coup et pour toujours associé à ceux de Scheele et de Gay-Lussac, c'est-à-dire à ceux de deux des plus grands chimistes, de deux des maîtres les plus respectés....

L'intérêt philosophique offert par les propriétés du

brome, son rôle dans les procédés de substitution qui multiplient les espèces organiques sous la main du chimiste, son importance comme agent thérapeutique, son utilité dans les opérations de la photographie, tout a contribué à rendre populaires, à la fois, le nom de cet élément et celui de M. Balard qui en est inséparable. (DUMAS, *Discours et Éloges acad.*, t. II, p. 89.)

CHAPITRE III

HENRI SAINTE-CLAIRE DEVILLE ET DUMAS

Le laboratoire de l'École normale supérieure.

La chaire de chimie de l'École normale supérieure étant devenue vacante par la nomination de Balard au Collège de France, Deville y fut appelé [1].

Il se met à l'œuvre, et bientôt l'Europe savante tout entière aura les yeux fixés sur ce laboratoire d'où vont sortir tant de belles découvertes et où les savants de tout pays, comme les plus modestes professeurs de province, sont assurés de trouver un si aimable accueil. Il n'y épargnera ni son temps ni sa peine. Maintes fois, les élèves de l'École le surprendront prenant un repas rapide sur le coin d'une table ou, rentrant dans leurs dortoirs, l'entendront bien avant dans la nuit, qui chauffe et poursuit une expérience inachevée. Sa parole ardente, parfois impatiente, mais toujours bienveillante, encourage et excite ses aides. Quel exemple pour ces jeunes gens! Mais aussi, de ce laboratoire où l'on travaille tant, on va voir sortir en quelques années l'aluminium, non plus en grains impurs et facilement attaquables, comme l'avait obtenu Wöhler, mais en lingots magnifiques, presque aussi inaltérables que l'argent et prêts à toutes les applications; puis le bore, le silicium en cristaux semblables à ceux du charbon; le magnésium en rubans et en fils, donnant une lumière aussi éclatante que l'arc électrique.

1. *Henri Sainte-Claire Deville*, né à Saint-Thomas des Antilles le 11 mars 1818; mort à Boulogne-sur-Seine, le 1er juillet 1881.

C'est là que Deville va enseigner l'art de purifier et de fondre en grandes masses le platine, réputé infusible au feu de forge le plus violent, l'iridium, encore plus réfractaire. Devant les délégués du gouvernement russe qui lui avait fourni le minerai en quantité suffisante, devant ses collègues, devant les élèves de l'École, plusieurs kilogrammes de ce précieux métal deviendront aussi fluides que de l'eau. Grâce à ces méthodes, il prépare le métal qui sera employé à fournir au monde entier des étalons du mètre et du kilogramme, identiques à $\frac{1}{1000}$ de millimètre et à $\frac{1}{100}$ de milligramme près. Dans ce laboratoire encore, Deville imagine de nouvelles méthodes d'analyse minérale et, associant de nombreux élèves à ses travaux, les enflamme de son ardeur, reproduit des espèces minérales, mesure les densités de vapeur à des températures qu'on ne croyait pouvoir employer avant lui. C'est là enfin qu'il imagine et réalise les expériences et les mesures d'où sortira une loi nouvelle, celle de la dissociation, montrant une fois de plus l'admirable continuité qui unit les phénomènes physiques et chimiques. C'est dans ce laboratoire si hospitalier que tant d'élèves, inspirés par le maître, les Debray, les Caron, les Troost, les Hautefeuille, les Gernez, les Isambert, etc., confirmeront et compléteront ses vues par tant de recherches originales et ingénieuses; c'est là que les gaz réputés permanents, l'oxygène, l'azote, l'air lui-même, vont se liquéfier entre les mains de M. Cailletet. Pendant que ces découvertes s'accumulaient, à quelques pas, dans un autre laboratoire de la même maison, M. Pasteur, apportant dans un ordre de recherches différent la même rigueur dans la discussion, la même habileté dans l'invention, mettait à néant la doctrine des générations spontanées, isolait et étudiait les différentes fermentations, et préludait ainsi aux travaux d'où devait sortir le remède à quelques-unes des plus redoutables maladies qui peuvent atteindre l'homme et les animaux.

Tel était le théâtre où Deville va poursuivre et terminer sa carrière, trop tôt pour la belle et nombreuse famille qui l'entourait, pour ses amis, pour la science. La semaine est consacrée à l'enseignement, aux recherches; le dimanche matin, on fait au laboratoire une courte toilette; puis il ouvre de nouveau ses portes. Les confrères de Deville à l'Institut, les savants étrangers, les anciens élèves, se réunissent autour du

maître aimé. On répète les expériences récentes; Deville va de l'un à l'autre, animant la réunion des éclats de sa verve, de son ferme bon sens, semant les idées qui, soumises au travail méthodique, devenaient souvent des Mémoires importants. Plus d'un savant, hostile parfois ou du moins nourrissant quelques préventions contre l'École et l'enseignement qui y était donné, est venu cependant à ces matinées du dimanche et a été bien vite sous le charme. Dumas, dans son Éloge de Deville, a laissé un vif tableau de ces réunions, qu'il honorait souvent de sa présence :

Le dimanche, ses élèves et ses amis, réunis à l'École normale, assistaient à la répétition des expériences qu'il avait imaginées ou de celles dont on voulait le rendre témoin. Géomètres, physiciens, chimistes, naturalistes, industriels, philosophes, historiens, gens de lettres et gens du monde, chacun se plaisait dans ce milieu sans prétention, ouvert à toutes les hardiesses, fermé à toutes les idées fausses.

Dès le moment où il entra dans ce laboratoire de l'École normale, jusqu'à celui où la maladie à laquelle il devait succomber vint l'en éloigner, il s'y montra le plus assidu, le plus simple et le plus heureux de ceux que l'amour de la science y réunissait. Toute morgue en était bannie, une camaraderie charmante y régnait, une gaieté franche et communicative en écartait les discussions. On sortait de là content des autres et de soi-même : on avait appris quelque chose; on avait fourni son contingent au progrès; on s'était vu entouré de grands talents et d'éminents esprits, ne marchandant pas l'éloge, prompts à l'admiration, étrangers à l'envie, ignorant la jalousie et pratiquant la plus large tolérance. Ces souvenirs seront l'honneur éternel de l'École normale.

M. Joseph Bertrand aussi était un familier de ces réunions. Il en a rapporté, dans sa Notice sur M. de Senarmont, un épisode caractéristique :

Un jour (c'était en 1856), dans le laboratoire de l'École normale, Senarmont avait suivi avec une curiosité émue la cristallisation si intéressante et si ingénieusement obtenue du silicium. Henri Sainte-Claire Deville, heureux de son invention, courant à son goniomètre, trouve un angle de cristal égal à 71° 30′ et s'écrie, plein de joie : « Il appartient au système régulier, c'est un diamant de silicium ! » Senarmont répète la mesure, trouve à peu près le même angle, mais conserve quelques doutes. Il emporte le précieux cristal et revient le lendemain :

« Vous vous êtes trompé, dit-il, c'est un rhomboèdre dont un angle est égal accidentellement à un de ceux du système régulier. » Puis il montre des facettes incompatibles avec une cristallisation semblable à celle du diamant. Deville s'incline devant une autorité incontestée ; il communique sa découverte à l'Académie des sciences, rend compte de ses premières illusions et des judicieuses critiques qui l'y ont fait renoncer. A peine le compte rendu est-il imprimé qu'il voit accourir Senarmont très sérieusement mécontent : « Pour qui me prenez-vous ? dit-il. Si je viens dans votre laboratoire, si j'y suis admis à tout voir et à tout manier, croyez-vous que ce soit pour vous imposer un collaborateur et attacher mon nom à vos découvertes ? Je suis très mécontent que vous m'ayez cité ; si vous recommencez, je n'y reviendrai plus. » A quelques jours de là, on refait l'expérience. Senarmont examine les cristaux ; il y aperçoit un octaèdre. Le doute n'était plus possible, la nature était prise sur le fait : « Vous aviez raison, dit-il à Sainte-Claire Deville, mes facettes provenaient du groupement de plusieurs cristaux ; j'aurais dû le deviner ; je suis bien aise que vous m'ayez cité, j'ai ce que je mérite ; cela fait mon compte. — Vous reconnaissez donc, lui dit Deville, que loyalement je devais publier l'observation des facettes sous votre nom ? — Eh bien ! oui, répond Senarmont, vous êtes un brave homme... et moi aussi. » Et ils s'embrassèrent.

Déjà à une autre époque, des réunions semblables avaient eu lieu à Paris, qui ont laissé un long et vivant souvenir à ceux qui en avaient été les témoins. Lavoisier, absorbé toute la semaine par ses nombreuses et importantes fonctions, recevait le dimanche, nous dit Dumas [1], avec une bienveillance sans pareille, les jeunes gens désireux d'apprendre et les savants ou artistes français ou étrangers. Là aussi avaient lieu sur les points les plus délicats de la science des discussions où brillait le génie si net et si pénétrant de Lavoisier. Mais si ces réunions avaient le même but et offraient plus d'un trait commun, il est intéressant de noter les différences qu'y introduisaient l'esprit du temps et le caractère propre des deux hommes qui en étaient l'âme. Les réunions du laboratoire de Lavoisier tenaient un peu du salon auquel ne ressemblaient nullement celles de l'École normale. Les assistants y apportaient ces formes un peu cérémonieuses et affectées de la fin du XVIIIe siècle. Lavoisier lui-même, d'une grande bonté et d'une exquise politesse, mais froid et calme, redoutant presque les polémiques, écoutait d'abord en silence, puis il émettait son avis avec cette netteté tranquille et lumineuse qui le mettait si fort en avant de son siècle. Deville, au contraire, ardent, primesautier, humoristique, très libre d'allures, profondément bon et généreux, mais prompt à la lutte contre les idées fausses et l'abus des théories, et procédant plutôt par vives attaques que par correctes discussions. L'un, philosophe et quelque peu officiel, l'autre un peu soldat et presque chevalier. Mais chez l'un et chez l'autre, la même imagination à la fois brillante et réglée, le même art d'expérimenter, la même horreur des mots vagues et des explications hâtives. (JULES GAY, *Henri Sainte-Claire Deville, sa vie et ses travaux*. Paris, Gauthier-Villars, 1 vol. petit in-8, p. 19.)

L'aluminium.

Certains métaux se présentent dans leurs mines à l'état de pureté, comme l'or; il n'y a qu'à les ramasser. D'autres, tels que le fer, l'étain, le cuivre, le plomb, s'y trouvent

1. J.-B. DUMAS, *Leçons sur la philosophie chimique*, p. 139.

à l'état de rouille ou bien unis au soufre ; mais il suffit de chauffer fortement leurs minerais, soit au contact de l'air, soit au contact du charbon, pour voir reparaître dans tout leur éclat les métaux qu'ils recèlent. D'autres, enfin, se montrent rebelles à ces influences ; pour séparer de l'argile le métal qu'elle renferme, l'aluminium, la chimie de ces temps primitifs ne suffisait pas; toutes les ressources de la science la plus moderne étaient nécessaires.

L'homme a donc pu, dès les premiers temps de la civilisation, approprier à ses usages certains métaux faciles à extraire de leurs gangues et utiliser des terres durcissant au feu. Aucune peuplade, aucune nation n'a pu se passer des services rendus par l'argile : briques, poteries, vases colorés et couverts de peintures, faïences et porcelaines éclatantes, ces productions prennent l'humanité à son berceau et l'accompagnent jusque dans les palais. L'origine de l'art du potier, cependant, se perd dans la nuit des temps; son inventeur n'a pas été admis dans l'Olympe. Les métaux, au contraire, ont leur place dans les cieux de la mythologie poétique et dans le firmament de l'astronomie positive : l'or, l'argent, le cuivre, le fer, le plomb, le vif-argent, c'est le soleil, la lune, les planètes; c'est Apollon, Diane, Vénus, Mars, Saturne ou Mercure. L'argile, humble servante de l'homme, malgré le rôle universel qu'elle a joué dans l'économie de la famille ou dans les conceptions architecturales, l'argile est restée dans un rang inférieur, jusqu'au moment où Henri Deville, la touchant de sa baguette, est venu mettre en évidence le précieux métal qu'elle recèle.

Cette argile, en effet, renferme un métal, ainsi que l'avait annoncé Lavoisier; mais ce que Lavoisier ne pouvait prévoir, ce métal est léger comme le verre, presque aussi beau que l'argent, comme lui inaltérable à l'air, au feu, et résiste même à la plupart des agents chimiques. Ductile, malléable, fusible, exigeant cependant pour fondre une température assez haute et ne se volatilisant

pas, c'est un métal noble de plus, prenant place à côté de l'or, du platine et de l'argent, et un métal prodigué par la nature, plus répandu que le fer dans les couches superficielles du globe, formant comme une réserve pour les besoins des époques les plus civilisées. Nous assistons à l'aurore de son introduction dans les habitudes de l'espèce humaine; mais ses qualités et sa prodigieuse abondance le rendent propre à un si grand nombre d'usages qu'un jour ce sera le plus répandu des métaux. On se rendra compte alors du service rendu à la civilisation par un des plus nobles efforts de la science, un des plus désintéressés et des plus dignes d'admiration.

Que de conditions à remplir, en effet! Il fallait une terre argileuse facile à purifier; le Midi de la France se chargea de la fournir, et le procédé de purification, bientôt découvert, ne varia plus. Convertir cette terre en un composé susceptible de permettre l'extraction du métal, c'était une industrie à créer avec son outillage; on s'y appliqua si bien qu'on n'y a rien changé. La libération de l'aluminium exigeait une température élevée et rendait nécessaire l'emploi d'un fondant; le Groenland, après l'avoir mis entre les mains de Deville, continue à alimenter les creusets de ses successeurs. Enfin et surtout, il s'agissait d'imaginer des méthodes pratiques pour la préparation du métal du sel marin, l'agent principal de la nouvelle industrie; elles furent portées du premier coup à leur perfection. Quel ensemble merveilleux!

Le premier kilogramme d'aluminium obtenu avait coûté plus de 40 000 francs; aujourd'hui, ce métal revient à 80 francs le kilogramme et couvrirait dix fois plus d'espace que l'argent, avec la même dépense. Les usages auxquels on l'a jugé propre à l'état de pureté sont intéressants et nombreux; le bronze, auquel il donne naissance en se combinant au cuivre, trouve dans les arts mécaniques un emploi journalier plus varié et plus important encore.

Ce n'est pas tout, le sodium nécessaire pour dégager l'aluminium de ses combinaisons se payait littéralement au poids de l'or; Henri Deville en a rapproché le prix de revient de celui du cuivre. Ce métal, que nous conservions autrefois en petits globules comme reliques précieuses dans nos cabinets réservés, manié par tonnes maintenant, intervient comme agent principal dans les études si fécondes par lesquelles la chimie organique multiplie ses créations.

Henri Deville devait montrer le premier quel puissant instrument il venait de mettre aux mains des chimistes, en isolant à son aide, sous une forme qui les rapproche du diamant, le radical du cristal de roche et celui de l'acide borique. (DUMAS, *Discours et Éloges*, t. II, p. 310.)

Le platine. — Les étalons internationaux.

Après s'être mesuré avec les métaux les plus oxydables, H. Deville, tenté par une étude nouvelle de ceux qui le sont le moins, entreprit avec notre confrère M. Debray, son élève et son ami, l'examen du platine, ainsi que celui des cinq métaux curieux dont il est accompagné dans ses mines, parmi lesquels la substance la plus dangereuse de la nature, l'osmium, et la plus réfractaire, l'iridium.

Au cours de ces études, riches en découvertes, en présence de métaux dont nos fourneaux ordinaires et nos forges les mieux alimentées ne pouvaient opérer la fusion, nos deux confrères furent conduits à chercher dans la combustion du gaz de l'éclairage par l'oxygène, le moyen de produire sous une forme manufacturière un foyer de chaleur dont les arts n'avaient pas encore connu l'usage. Par un ensemble de dispositions ingénieuses, ils apprirent à manier avec autant de sûreté que d'économie ces appareils de chauffage d'une intensité extraordinaire et d'un genre nouveau; l'industrie s'en est emparée.

Sur ces entrefaites, la conférence diplomatique du mètre ayant adopté le système français des poids et mesures, au nom des nations réunies, on chercha, parmi les matières connues, la plus apte à fournir des prototypes inaltérables et exacts. L'alliage de platine et d'iridium proposé par MM. Deville et Debray obtint la préférence, non seulement à cause de sa grande densité, mais aussi comme étant le moins fusible des solides propres à cet usage, et le plus capable de résister aux effets prolongés de l'humidité ou de l'air. Son grain fin, son poli parfait, sa dureté, sa malléabilité, le désignaient d'ailleurs aux préférences de l'assemblée.

On a obtenu à son aide les prototypes du mètre et du kilogramme, comparables les uns au $\frac{1}{1000}$ de millimètre, les autres au $\frac{1}{100}$ de milligramme, précision dont on n'aurait jamais cru pouvoir approcher. Pour l'atteindre, il est vrai, il a fallu dix années d'études, soit pour amener le platine et l'iridium à un état de pureté irréprochable, soit pour constituer à leur aide un alliage exempt de tout corps étranger, soit enfin pour obtenir les masses destinées à fournir les prototypes des mètres et des kilogrammes réclamés par les diverses nations. H. Deville n'y avait épargné ni son génie inventif ni ses veilles; il y avait perdu sa santé; il se consolait en songeant à la postérité pour laquelle il travaillait.

Ces prototypes braveront, en effet, l'action des siècles, qu'ils soient conservés dans l'air sec, dans l'air humide ou même plongés dans l'eau. On les verrait sortir intacts des flammes du plus violent incendie. Ils ne peuvent être altérés que par des actions mécaniques intentionnelles : déformations ou pertes de substance, produites par le choc du marteau ou l'action de la lime. (DUMAS, *Discours et Éloges*, t. II, p. 314.)

La dissociation

Mais ces travaux [1] qui ne connaissaient pas le repos, ces découvertes frappant à coups redoublés l'attention de l'Europe éclairée et ramenant les esprits vers la chimie minérale, bases fondamentales de la science, n'atteignaient pas cependant les hauteurs d'une doctrine. Henri Deville mettant le complément à sa gloire, et c'est à dessein que j'emploie ce mot, eut le rare bonheur de s'arrêter devant un phénomène qu'on laissait passer inaperçu et d'en faire sortir, par une analyse délicate, pénétrante et rigoureuse, la vraie théorie de l'union chimique des éléments.

Voici le fait. La flamme fournie par l'hydrogène et l'oxygène est capable de fondre le platine. La température, produite par la combinaison de ces deux gaz au moment de leur conversion en eau atteint donc le point de fusion de ce métal. Un éminent physicien anglais, M. Grove, avait reconnu, cependant, que des globes de platine incandescents et presque en fusion, jetés dans l'eau froide, y déterminent un dégagement d'hydrogène et d'oxygène gazeux provenant de l'analyse de cette eau.

Le point de fusion du platine représente donc une température au voisinage de laquelle la formation ou la décomposition de l'eau semblent s'opérer indifféremment.

Sous l'influence de l'illustre chimiste suédois Berzélius, on avait admis, sans preuves, l'existence d'une force capable de se manifester au seul contact des corps et n'empruntant rien à ceux-ci, soit comme matière pondérable, soit comme énergie. Par un privilège spécial, le platine était considéré comme doué au plus haut degré

1. Les travaux accomplis au laboratoire de l'École normale par Henri Sainte-Claire Deville et ses élèves : l'étude de l'aluminium, du platine, du bore, du silicium, des températures élevées, des densités de vapeurs, etc. — J. G.

de ce pouvoir mystérieux. Henri Deville avait en horreur les forces occultes, les mots vides de sens dont s'accommode trop facilement une science à ses débuts; il n'acceptait donc pas l'explication complaisante donnée à la curieuse expérience de M. Grove.

Il fit voir que le phénomène qu'elle présente, loin d'être une exception, est général; que le platine n'y est pour rien; qu'il y a pour chaque combinaison une zone de chaleurs telle, que ses éléments se séparent ou se réunissent partiellement au gré des circonstances. C'est à cet état d'équilibre qu'il a donné le nom de *dissociation*. Il en a multiplié les exemples, précisé les conditions et créé la théorie. Autour de lui, ses élèves se sont appliqués avec vénération à compléter son œuvre. Dans les pays étrangers, on en a fait l'objet d'études nombreuses et importantes : on a écrit des volumes, mais on n'a rien changé à la doctrine sortie de l'École normale.

En quoi consiste la dissociation chimique produite par la chaleur? Comment diffère-t-elle de la décomposition proprement dite, déterminée par une température élevée, dont les effets étaient depuis longtemps familiers aux chimistes et même aux artisans?

Ce n'est pas seulement à 100 degrés que l'eau entre en vapeur, et chacun sait qu'à une température bien inférieure, elle disparaît, prenant l'état aériforme et se mêlant à l'atmosphère; chacun sait aussi que, sous certaines conditions, il lui est indifférent de revêtir l'état gazeux dans un air sec ou de se précipiter sous forme de brouillard dans un air humide. Henri Deville, par une inspiration de génie, saisit l'analogie qui lie le changement d'état chimique au changement d'état physique. Il fit voir qu'aux approches de la température nécessaire pour déterminer la combinaison totale de deux substances, elles peuvent se réunir ou se séparer selon les conditions du milieu. Vers la température où l'eau cesserait d'exister, s'il y a excès des deux gaz qui lui donnent naissance, une portion

de ceux-ci s'enflamment en s'unissant; la vapeur d'eau est-elle en excès, celle-ci se décompose partiellement au contraire. Telle est la loi de la nature. Changement d'état des corps, séparation ou réunion des éléments, ce sont effets d'une même force, la chaleur, produisant d'abord une action purement physique, atteignant ensuite la constitution chimique des êtres; isolant les atomes du chimiste, après avoir disjoint les molécules du physicien, et réduisant peut-être la matière dans le soleil, à un état plus ténu, dont la nature nous échappe sur la terre.

Laplace, Lavoisier, Berthollet et la plupart des géomètres, envisageant l'union des éléments au point de vue mécanique, ne pouvaient accepter le sens absolu sous lequel l'acte de la combinaison était envisagé par les chimistes. H. Deville leur a donné raison. Les corps volatils cessent d'émettre des vapeurs à une température basse, s'évaporent plus ou moins, selon le milieu, à une chaleur moyenne, prenant tout entiers l'état aériforme à l'ébullition. Il en est ainsi des composés chimiques absolument stables quand le froid est suffisant, plus ou moins décomposés, selon le milieu, quand la température s'élève, réduits à leurs éléments quand elle est assez haute.

Grande et mémorable découverte! En rattachant par un lien étroit la dissociation chimique à l'évaporation, la décomposition chimique à l'ébullition, Henri Deville a réalisé l'une des plus belles inventions de ce siècle fécond. Les vues de Newton sur l'action chimique, si longtemps méconnues, y ont trouvé la plus éclatante confirmation; et, lorsque la science mathématique viendra réunir, comme conséquences de l'attraction, les mouvements des éléments dans la formation des composés et les lois qui régissent le système du monde, les vues de l'immortel Newton et celles de Henri Deville auront servi de base à cette évolution mémorable de la philosophie naturelle. Au sujet des affinités chimiques, notre confrère a donc aussi

fermé l'ère des romans, ouvert celle de l'histoire et préparé l'union de la chimie et de l'astronomie.

A peine énoncée, la doctrine de la dissociation jetait la plus vive lumière sur une foule de phénomènes demeurés sans explication; on ne comptait pas, en effet, les cas nombreux dans lesquels on avait vu se produire des actions inverses entre des corps semblant obéir à quelque caprice, s'unissant par des noces passagères, se séparant par des divorces sans cause apparente.

Mais, dans cette étude des éléments prêts à s'associer, des composés prêts à se détruire, il fallait saisir au passage des êtres fugitifs qu'un changement de décor allait faire disparaître. Henri Deville, avec une sûreté de vues extraordinaire, imagina une élégante méthode expérimentale : au gaz devenu libre, il présente un filtre qui le sépare de celui auquel il allait se combiner; aux vapeurs momentanément isolées, il offre des surfaces qui les condensent avant toute altération; il fait ainsi toucher du doigt les témoins irréprochables de ces phénomènes éphémères dont l'existence avait échappé jusqu'alors à l'attention. Il reproduit, comme en se jouant, les effets les plus bizarres, les moins vraisemblables, ramenant au rang des plus simples tels problèmes rebelles depuis longtemps aux efforts de la science.

Il rattache avec bonheur aux effets de la dissociation la volatilisation apparente des matières les plus réfractaires. Il y trouve les conditions de la formation des filons métalliques; il fait voir que la dissociation jouait un grand rôle aux époques géologiques éloignées et qu'elle ne reste pas étrangère aux manifestations des volcans actuels.

Si la théorie de la dissociation, si largement mise en lumière, avait pu laisser les moindres doutes, notre confrère M. Debray, venant en aide à son maître et à son ami, par sa belle étude de l'action de la chaleur sur le carbonate de chaux, se fût chargé de les faire disparaître, en donnant à la fois à la physique l'un de ses meilleurs

modèles, à l'art du chaufournier, remontant aux origines de la civilisation, le guide théorique dont il manquait.

Un autre de nos confrères, M. P. Bert, y découvrait le complément de la théorie de la respiration et montrait les bicarbonates alcalins incessamment produits dans le sang venant perdre par dissociation une partie de leur acide carbonique en se mettant en rapport avec l'air pur dans les vaisseaux du poumon.

Ce n'est pas tout. L'air qui nous environne contient de l'acide carbonique, en proportion très faible, mais constante, ainsi que l'ont démontré les analyses effectuées dans les contrées si diverses choisies comme stations pour l'observation du dernier passage de Vénus sur le Soleil. D'où vient cette fixité? C'est, nous apprend M. Schlœsing, que depuis de longs siècles il s'est établi, entre les bicarbonates contenus dans l'eau des mers et l'acide carbonique atmosphérique, un équilibre qui, à peine troublé, tend à se rétablir. Si les eaux pluviales enlèvent à l'air une certaine quantité d'acide carbonique, les bicarbonates de la mer s'empressent de la restituer. Si le bicarbonate de chaux des eaux salées se décompose et forme ces dépôts crayeux où les géologues des races futures iront chercher les restes des animaux de l'époque actuelle, les eaux douces, chargées d'acide carbonique, parcourant la surface des continents, y trouvent le calcaire qu'elles convertissent en bicarbonate de chaux et qu'elles portent aux mers.

Voilà certes un budget en parfait équilibre! L'atmosphère rend à la mer tout ce qu'elle en a reçu ; celle-ci lui restitue tout ce qu'elle lui a pris et les eaux pluviales remplissent leur office d'honnête courtier, opérant sans frais le transport de l'acide carbonique de l'une à l'autre.

Ainsi l'acide carbonique ne s'accumule pas dans l'air au point de le rendre irrespirable; les sels calcaires ne se concentrent pas dans l'eau des mers au point d'amener la mort de tous les êtres qui l'habitent; un simple équilibre,

effet de la dissociation, entre l'acide carbonique de l'air. celui des eaux douces et celui des eaux salées, assure la permanence de la vie sur le globe, détermine l'érosion des continents et l'exhaussement du fond des océans. Pour produire les plus grands effets, la nature, encore une fois, se contente des plus petites forces, mettant en mouvement des rouages si artistement combinés qu'on y sent la main d'un habile horloger et non le brutal effet du hasard. (DUMAS, *Discours et Éloges*, t. II, p. 317.)

J.-B. Dumas.

Le nom de J.-B. Dumas est revenu trop souvent dans ces lectures, il a tenu dans la science de ce siècle une place trop grande pour que nous ne lui consacrions pas quelques pages de ce volume. L'analyse de ses travaux nous entraînerait trop loin, mais quelques passages des discours prononcés le 21 octobre 1889 à l'inauguration de sa statue à Alais, le feront suffisamment connaître.

Né à Alais, le 24 juillet 1800, d'une famille honorable, mais nombreuse et sans fortune, J.-B. Dumas montra de bonne heure un goût très vif pour les sciences. Les moyens d'étude manquant à Alais, son père se décida à l'envoyer à Genève. « Il partit à pied, dit M. Armand Gautier, fort de quelques lettres de recommandation pour Théodore de Saussure, Gaspard de la Rive et P. de Candolle. Ce mot qu'il avait sur lui, écrit de la main de son père, lui servait de viatique : « Mon fils cadet partit d'Alais pour Genève le 26 avril 1817. Je le recommande à Dieu, souverain protecteur des voyageurs. »

A Genève, Dumas se lia bientôt avec le docteur Prévost et fit avec lui des travaux vite remarqués. Après quatre ans passés à Genève, Dumas partit pour Paris, où, grâce à l'efficace protection d'Ampère et d'Arago, il fut bientôt appelé à la chaire de chimie de l'Athénée Royal, en 1823, et, l'année suivante, nommé répétiteur du cours de Thénard à l'École polytechnique. Dès lors, les travaux se succèdent sans interruption. En 1832, il entre à l'Académie des sciences, en 1835, le 13 janvier, il y lit le mémoire célèbre où il établit la loi des substitutions, la plus

féconde peut-être de la chimie organique : « Le chlore possède le pouvoir singulier de s'emparer de l'hydrogène et de le remplacer atome par atome ».

Il remplaça Guizot à l'Académie française en 1876 et il mourut à Cannes le 11 avril 1884.

Professeur à la Sorbonne, dont il était doyen, au Collège de France, à l'École polytechnique, à l'École centrale, à l'École de médecine, Dumas occupa successivement ou simultanément les plus grandes chaires de Paris. Partout il a laissé la tradition d'un talent d'exposition inimitable. Au milieu d'un amphithéâtre envahi, débordant jusque dans ses approches, d'une jeunesse avide d'idées et de spectacles, Dumas arrivait, irréprochable de tenue, maître de son émotion, un peu solennel. Le tumulte se figeait aussitôt sur place. Il commençait à voix basse, très basse, et de son auditoire silencieux l'ardente attention montait et s'élevait lentement avec la pensée du maître. Peu à peu sa voix grandissait; sa parole prenait la couleur et l'éclat; sa période se déroulait plus large, plus pressante, puis dans un merveilleux tableau portait tout à coup jusqu'au fond des esprits la vision intérieure d'une vérité nouvelle. L'amphithéâtre éclatait en applaudissements....

Dans l'histoire scientifique de notre nation, nul autre que Lavoisier ne laissera un souvenir plus haut, une trace plus large, une figure plus sereine. Presque aussi propre que lui à tout éclairer de son génie, on dirait que Dumas a pris ce grand esprit pour modèle, qu'il hante continûment sa pensée. Il devient son panégyriste, son apôtre. Il élève à sa mémoire le beau monument de ses *Œuvres complètes*, ce livre que la mort, la mort violente avait, encore inachevé, arraché des mains de la grande victime. Comme Lavoisier, Dumas fait deux parts de sa vie : savant, il marche de découvertes en découvertes; administrateur, il éclaire les plus importantes questions

économiques de son temps. Tous les deux, jeunes encore, sont amenés à reconstruire l'édifice scientifique de leur époque, à combattre les hommes qui détiennent la tradition et l'autorité; tous les deux convainquent lentement leurs contemporains, et tous les deux imposent à l'étranger les idées françaises. Comme Lavoisier, Dumas, dans ses multiples travaux, sait aborder tantôt la chimie pure et ses lois, tantôt la chimie appliquée aux arts industriels; tantôt il devient comme lui l'un des plus grands physiologistes de son temps....

Comme Lavoisier, écrivain clair et pathétique, Dumas devint le défenseur du petit, de l'imprévoyant, de l'inventeur méconnu. Comme à lui, les grandes questions d'intérêt public inspirent d'admirables études. Comme Lavoisier, Dumas a vu l'étranger fondre sur la patrie, l'ennemi à nos portes ou dans nos provinces, la France diminuée, menacée de décadence, et comme lui il a pu douter un instant de l'avenir. Mais, plus heureux que Lavoisier, Dumas s'est vu épargner par les révolutions de son pays : sa mort n'a pas taché d'une marque sanglante, ineffaçable, les pages du livre qu'il avait reçu mission d'entr'ouvrir. Vous élevez aujourd'hui à son génie un monument que la mémoire de Lavoisier attend encore. (ARMAND GAUTIER, *Discours prononcé à Alais.*)

Peu d'hommes ont autant mérité que J.-B. Dumas les honneurs d'un long souvenir. Peu d'existences ont été aussi noblement utiles. Tant de beaux travaux, tant de découvertes fécondes, tant de services rendus vous seront rappelés tout à l'heure. Je ne veux et je ne puis en ce moment que vous adresser quelques mots, moins comme le président de votre comité que comme le disciple et l'ami de celui qui revit devant nous dans son éloquente et sereine attitude. C'est bien là, non seulement le professeur incomparable que nous avons connu, mais l'homme apte à toutes les tâches et dominant toutes les fonctions.

Parmi les hommes supérieurs, il en est qui, s'isolant dans leurs études, ont pour le tumulte des idées une pitié dédaigneuse ou une indulgente ironie. Ne s'inquiétant pas de l'opinion générale, que dans leur esprit trop délicat ils confondent volontiers avec l'opinion du vulgaire, ils ne visent qu'à exercer une influence directe sur un cercle de privilégiés. Si cette élite leur échappait, ils trouveraient encore dans l'activité et le spectacle de leur propre intelligence un intérêt vif et prolongé.

D'autres, emportés au contraire par le besoin de faire triompher leurs idées, se jettent dans les batailles de la vie publique.

Il est enfin un petit nombre d'hommes aussi bien faits pour le travail silencieux que pour les débats des grandes assemblées. En dehors des études personnelles qui leur assurent dans la postérité une place à part, ils ont l'esprit attentif à toutes les idées générales et le cœur ouvert à tous les sentiments généreux. Ces hommes-là sont les esprits tutélaires d'une nation.

M. Dumas en fut, dès sa jeunesse, un type souverain. S'agissait-il d'une grande école à fonder comme l'École centrale, ou d'un inventeur à encourager comme Daguerre, par exemple, plus que méconnu dans les premiers temps, M. Dumas était toujours là. Ses avis, pleins d'une douce gravité, pesaient comme des oracles. Outre cette pénétration immédiate qui lui faisait démêler en toute idée neuve ce qui était praticable et durable, il avait pour chaque personne et dans chaque cas particulier le don de conseil. Aussi, entreprendre un travail qu'il n'eût pas approuvé nous eût semblé, à nous ses élèves, une tentative téméraire et comme un manque de respect.

Pour moi, messieurs, je puis dire que, pendant quarante ans, je n'ai cessé de travailler en ayant devant l'esprit cette figure vénérée dont un mot encourageant d'abord, puis mieux, puis plus que je n'osais espérer,

étaient une récompense et un honneur qui dépassaient tous les autres. Son enseignement avait ébloui ma jeunesse; j'ai été le disciple des enthousiasmes qu'il m'avait inspirés. (PASTEUR, *Discours prononcé à Alais.*)

Sur la constitution du lait et du sang.

M. Dumas montre d'abord que les émulsions artificielles ne peuvent remplacer le lait naturel, les globules gras contenus dans celui-ci étant enfermés dans une membrane, tandis que ceux des émulsions sont nus. Il ajoute :

Par ces motifs et par beaucoup d'autres encore, car aucun chimiste consciencieux ne pourrait affirmer que l'analyse du lait ait fait connaître tous les produits de nature à intéresser le physiologiste, que cet aliment contient, nous devons renoncer, quant à présent, à la prétention de faire du lait, et surtout nous abstenir d'assimiler à ce produit des émulsions quelconques.

Du reste, on ne saurait mettre trop de réserve quand il s'agit de prononcer sur l'identité de deux produits, l'un naturel, l'autre factice, *s'ils ne sont pas cristallisables* ou *volatils*, c'est-à-dire *définis* : nous ne pouvons jamais affirmer que nous ayons reproduit une eau minérale ou de l'eau de mer, par exemple.

Qu'il soit question de fumier pour les plantes ou d'aliments pour l'homme et les animaux, la même réserve n'est-elle pas commandée à plus forte raison?

Ces mélanges naturels indéfinis contiennent des substances que l'analyse la plus grossière découvre; d'autres, moins caractérisées ou plus rares, qu'une chimie délicate y fait seule connaître; d'autres enfin, et les plus essentielles peut-être, qui nous échappent encore, soit qu'elles existent en proportions infiniment faibles, soit qu'elles appartiennent à des corps qui n'ont pas été distingués jusqu'ici des autres espèces chimiques.

Il est donc toujours prudent de s'abstenir de prononcer sur l'identité de ces mélanges indéfinis employés à l'entretien de la vie, où les moindres traces de matières et les plus insignifiantes peuvent se montrer non seulement efficaces, mais encore indispensables [1]. A mesure que la science étend son domaine, on est même sûr de voir se multiplier les démonstrations de l'opportunité de cette réserve.

Si la fécondation n'avait pas rendu manifeste, par les phénomènes rapides de segmentation qui s'y accomplissent, que la masse du jaune d'un œuf est douée de vie et qu'elle obéit à l'impulsion du germe vivant qui s'en empare, nous en serions encore à ignorer que le jaune de l'œuf n'est pas une simple émulsion de matière grasse inerte.

Le lait n'est-il pas dans le même cas? on est disposé à le croire, quand on voit que le jaune d'œuf et le lait ont la même destination, la même configuration, et que, si le jaune obéit à l'action du germe qui s'en nourrit, le lait de son côté se montre prêt à recevoir et à nourrir les germes de plus d'un genre, qui, l'ayant atteint, se développent et vivent à ses dépens.

Le pouvoir de synthèse de la chimie organique en particulier et celui de la chimie en général ont donc leurs limites. Le siège de Paris aura bien prouvé que nous n'avons aucune prétention à faire du pain ou de la viande de toutes pièces, non plus que du lait. Si quelques illusions avaient pu se glisser à ce sujet dans l'esprit de personnes mal informées de l'état vrai de la science, elles tiennent au jeu de mots dangereux auquel se prêtent les expressions : *chimie organique*, *substances organiques* appliquées indifféremment aux composés définis, comme

1. Les recherches de M. Raulin, par exemple, ont montré que des *traces* d'oxyde de zinc sont nécessaires pour que, dans une culture d'*Aspergillus niger*, ce petit végétal atteigne son plein développement. — J. G.

l'alcool et l'acide citrique, qui sont impropres à la vie, et aux tissus organiques, siège de la vie.

Les premiers, étrangers à la vie, véritables espèces chimiques, sont les seuls que la synthèse ait reproduits.

Les seconds, qui ne peuvent se former que sous l'impression d'un germe vivant, et qui reçoivent, conservent et transportent les forces de la vie, ne sont pas des espèces définies : la synthèse des laboratoires ne les atteint pas. La seule synthèse qui ait été jusqu'ici observée pour les matériaux chimiques constituant les tissus vivants est celle que déterminent la présence et l'impulsion d'un germe vivant lui-même.

Toutes les synthèses chimiques, d'ailleurs si dignes d'intérêt, qu'on a signalées comme reproduisant des matières organiques, n'ont donc en réalité reproduit que des matières impropres à la vie, c'est-à-dire minérales. De toute matière vivante ou ayant vécu, il faut donc, en toute bonne foi, dire encore, soit qu'on parle en chimiste, soit qu'on parle en physiologiste, ce qu'on disait jadis : *Omne vivum ex ovo.* (DUMAS, Note lue à la Société de physique de Genève, le 4 juin 1871. — *Annales de chimie et de physique*, 4e série, t. XXII, p. 445.)

LIVRE III

M. PASTEUR

CHAPITRE I

LES PREMIÈRES DÉCOUVERTES

Nous empruntons au livre : *M. Pasteur, histoire d'un savant par un ignorant* [1], les intéressantes pages qui suivent. L'auteur, on le sait, est un écrivain distingué et bien connu, auquel il a plu de cacher sous l'anonyme les liens étroits qui l'unissent à M. Pasteur.

« Allons! monsieur Pasteur, il faut chasser le démon de la paresse! »

C'était le veilleur de nuit du collège de Besançon qui, invariablement, à quatre heures du matin, entrait dans la chambre de M. Pasteur et le réveillait par ce vigoureux bonjour, accompagné au besoin d'une forte secousse. M. Pasteur avait dix-huit ans. Outre le vivre et le couvert, le collège royal lui donnait vingt-quatre francs par mois. Mais si sa place était modeste, elle suffisait alors à son ambition : c'était le premier lien qui l'attachait à l'Université.

« Ah! lui avait souvent dit son père, si tu pouvais devenir un jour professeur, et professeur au collège d'Arbois, je serais l'homme le plus heureux de la terre! »

1. Paris, Hetzel, 1 vol. in-12.

Déjà, quand il habitait Dôle et que son fils n'avait pas deux ans, ce père se laissait aller à de tels rêves d'avenir. Qu'aurait-il dit si on lui eût annoncé que, cinquante-huit ans plus tard, sur la façade de la petite maison de la petite rue des Tanneurs, on placerait — devant son fils vivant, chargé d'honneurs, chargé de gloire, passant au milieu d'un cortège triomphant, dans la ville pavoisée — une plaque portant ces mots écrits en lettres d'or :

ICI EST NÉ LOUIS PASTEUR
le 27 décembre 1822.

Arrivé devant cette maison, M. Pasteur évoqua l'image de son père et de sa mère, de ceux qu'il appela ses chers disparus et, du fond des lointains de son enfance, tant de souvenirs d'affection, de dévouement, de sacrifices paternels accoururent vers lui qu'il éclata en sanglots.

Après une laborieuse enfance, M. Pasteur fut reçu en 1843 à l'École normale supérieure. Il y attira bientôt l'attention spéciale de l'un de ses maîtres, M. Delafosse.

Élève, puis collaborateur du célèbre cristallographe Haüy, M. Delafosse s'était attaché aux questions de physique moléculaire. M. Pasteur, qui avait lu avec passion les travaux d'Haüy, ne parlait avec M. Delafosse que d'arrangements de molécules, lorsqu'une note inattendue du minéralogiste allemand Mitscherlich, communiquée à l'Académie des sciences, vint le troubler dans toutes ses croyances. Voici cette note :

« Le paratartrate et le tartrate de soude et d'ammoniaque ont la même composition chimique, la même forme cristalline avec les mêmes angles, le même poids spécifique, la même double réfraction, et, par conséquent, le même angle des axes optiques. Dissous dans l'eau, leur réfraction est la même. Mais le tartrate dissous tourne le plan de la lumière polarisée et le paratartrate est indifférent,

comme M. Biot l'a trouvé pour toute la série de ces deux genres de sels. Mais ici, ajoute Mitscherlich, ici la nature et le nombre des atomes, leur arrangement et leurs distances sont les mêmes dans les deux corps comparés. »

Comment, se disait M. Pasteur, tout rempli des enseignements d'Haüy et de M. Delafosse sur l'arrangement des molécules dans les cristaux, pénétré des idées et de la netteté des conceptions de M. Dumas en chimie moléculaire, comment admettre que la nature et le nombre des atomes, l'arrangement de ceux-ci et leurs distances soient les mêmes dans deux espèces chimiques, que les formes cristallines de ces groupes soient également les mêmes, sans qu'il y ait une identité rigoureusement absolue entre ces deux espèces? N'y a-t-il pas une incompatibilité profonde entre l'identité affirmée par les conclusions de Mitscherlich et la dissemblance du caractère optique constaté entre les deux combinaisons tartrique et paratartrique qui font l'objet de cette note?

Cette difficulté resta longtemps dans l'esprit de M. Pasteur avec la ténacité d'une idée fixe....

Pour se fortifier dans la science des cristaux, il prit pour guide un travail étendu de M. de la Provostaye. Je répéterai, se disait M. Pasteur, toutes les mesures d'angles, toutes les déterminations de M. de la Provostaye et je comparerai mes résultats aux siens. Le travail de ce physicien, connu par la précision et l'exactitude de ses recherches, avait pour objet l'acide tartrique, l'acide paratartrique et leurs combinaisons salines.

Il y a deux ou trois ans, M. Pasteur, après m'avoir cité textuellement, sur une route du Jura, où nous nous promenions ensemble, cette note de Mitscherlich, me raconta, avec un enthousiasme de savant, le plaisir qu'il avait eu à faire cristalliser l'acide tartrique et ses sels dont les cristaux, disait-il, rivalisent en dimension et en beauté avec les plus belles formes cristallines connues :

« J'aurai bien de la peine, lui dis-je, à vous suivre à travers cet acide tartrique, ces tartrates et ces paratartrates. Autant vos autres études m'ont toujours attiré, autant celles qui ont pour point de départ la note de Mitscherlich et le mémoire de M. de la Provostaye m'ont paru, chaque fois que j'ai essayé de m'y remettre, d'un accès difficile. Ah! ajoutai-je, vous auriez bien dû, par égard pour ceux qui aiment à parler de vos travaux, ne pas faire de découvertes dans cette voie-là!

— Est-il possible, s'écria M. Pasteur avec un singulier mélange d'indignation et d'indulgence, que vous n'ayez jamais entrevu, derrière ces recherches de physique et d'optique moléculaires, de grands horizons! Si j'ai un regret, c'est de ne pas avoir suivi cette route, moins rude qu'il ne semble, et qui doit conduire, j'en suis convaincu, aux plus belles découvertes. Par un brusque détour, elle m'a subitement jeté dans les fermentations, les fermentations m'ont jeté à leur tour dans l'étude des maladies, mais je reste désolé de n'avoir jamais eu le temps de revenir sur mes pas. »

Alors, avec une simplicité d'exposition où l'on sentait l'homme qui a été professeur et qui s'est toujours efforcé de mettre ses idées à la portée de ses auditeurs :

« Si l'on envisage, me dit-il, tous les corps de la nature, qu'ils appartiennent au règne minéral, au règne animal, au règne végétal, ou que l'on considère même des objets, fabriqués par la main des hommes, on s'aperçoit qu'ils se distribuent en deux grandes catégories. Les uns ont un plan de symétrie, les autres n'en ont pas. Voici une table, une chaise, un dé à jouer, le corps d'un individu, on peut imaginer un plan passant par ces objets et le corps humain et qui les partage en deux moitiés absolument pareilles. Ainsi, un plan qui passerait par le milieu du siège et du dos d'un fauteuil laisserait à sa droite les mêmes parties que celles qui seraient à sa gauche. De même, un plan vertical qui passerait par le milieu du front, le milieu du

nez, de la bouche, du menton d'un individu laisserait à droite un ensemble de parties que l'on retrouverait du côté gauche. C'est bien simple, n'est-ce pas? Tous ces objets et une foule d'autres semblables forment la première catégorie. Ils ont un ou plusieurs plans de symétrie, disent les mathématiciens.

« Mais tous les objets sont bien loin d'être constitués de cette façon pour la répétition de leurs parties semblables. Considérez, par exemple, votre main droite, il est impossible de lui trouver un plan de symétrie. Quelle que soit la position que vous imaginiez pour un plan qui couperait la main, jamais vous ne trouverez à la droite de ce plan ce qui est à sa gauche. Il en est de même de votre main gauche, de votre oreille droite, de votre oreille gauche, de votre œil droit, de votre œil gauche, de vos deux bras, de vos deux jambes, de vos deux pieds. Le corps humain, pris dans son ensemble, a un plan de symétrie et chacune des parties qui composent l'une ou l'autre de ses moitiés n'en a pas. La tige d'un végétal, dont les feuilles sont distribuées en spirale autour de cette tige, n'a pas de plan de symétrie, un escalier tournant n'a pas de plan de symétrie, un escalier droit en a un. Vous voyez cela.

« Il eût été vraiment bien extraordinaire, n'est-ce pas, que les espèces minérales, telles que le sel marin, l'alun, le diamant, le cristal de roche et tant d'autres qui relèvent de la grande loi de la cristallisation et qui revêtent des formes géométriques, ne nous offrissent pas des exemples des deux catégories dont nous venons de parler? Elles les offrent en effet. C'est ainsi que le cube, qui a la forme d'un dé à jouer, a un plan de symétrie; il en a même plusieurs. La forme du diamant, qui est un octaèdre régulier, a également plusieurs plans de symétrie. Il en est ainsi de la grande majorité des formes des espèces chimiques que l'on rencontre dans la nature ou dans les laboratoires. Elles ont généralement un plan ou plusieurs plans de symétrie. Il y a cependant des exceptions. Le

cristal de roche, que l'on trouve en aiguilles souvent volumineuses dans les anfractuosités des roches, dans certains terrains primitifs, n'a pas de plan de symétrie. Il existe sur sa forme cristalline certaines petites faces distribuées de telle sorte que l'on pourrait comparer leur assemblage à une espèce d'hélice, ou de spirale, ou de vis, tous objets qui n'ont pas de plan de symétrie.

« Tout objet qui a un plan de symétrie, placé devant une glace, a une image qui lui est rigoureusement identique. L'image pourrait se superposer à la réalité. Placez une chaise devant une glace, l'image reproduit fidèlement la chaise, la glace reproduit notre corps considéré dans son ensemble. Mais placez votre main droite devant une glace et vous verrez une main gauche. La main droite n'est pas superposable à la main gauche, pas plus que le gant de votre main droite ne peut aller à votre main gauche, et inversement. »

Et, revenant au début de ses études cristallographiques, M. Pasteur me raconta brièvement qu'après avoir suivi le travail de M. de la Provostaye, il s'était aperçu qu'un fait très intéressant avait échappé à l'habile physicien. M. de la Provostaye n'avait pas vu, dans l'observation des formes cristallines de l'acide tartrique et de ses combinaisons, que ces formes font toutes partie du groupe des objets qui n'ont pas de plan de symétrie. Certaines petites faces lui avaient échappé. M. Pasteur reconnut en d'autres termes que la forme de l'acide tartrique placée devant une glace produit une image qui ne lui est pas superposable. Il en est ainsi des formes de toutes les combinaisons chimiques de cet acide. M. Pasteur reconnut, au contraire, que la forme de l'acide paratartrique et les formes de toutes les combinaisons de cet acide font partie du groupe des objets de la nature qui ont un plan de symétrie.

Ce double résultat transporta de joie M. Pasteur. Il y vit la possibilité d'atteindre, par l'expérience, l'explication

de la difficulté que la note de Mitscherlich avait jetée en quelque sorte comme un défi à la science en signalant une différence optique entre deux combinaisons chimiques qui paraissaient devoir être rigoureusement identiques par l'ensemble de tous leurs autres caractères. Puisque, se disait M. Pasteur, je trouve l'acide tartrique et tous ses tartrates dépourvus de plan de symétrie, tandis que son isomère, l'acide paratartrique, et ses combinaisons ont un tel plan, je vais m'empresser de préparer le tartrate et le paratartrate de la note de Mitscherlich, je comparerai leurs formes et vraisemblablement le tartrate sera dissymétrique, c'est-à-dire sans plan de symétrie; le paratartrate, au contraire, continuera d'avoir un plan de symétrie. Dès lors, l'identité absolue signalée entre les formes de ces deux combinaisons par Mitscherlich n'existera pas. Sur ce point, il se sera trompé, et sa note n'aura plus rien de mystérieux. Comme l'action optique propre aux tartrates dont il est parlé dans sa note se traduit par une déviation à droite du plan de polarisation, c'est là un genre de dissymétrie qui n'aura rien d'incompatible avec la dissymétrie de la forme. Tout au contraire, ces deux dissymétries pourront être rapportées à une même cause; de même l'absence de dissymétrie dans la forme du paratartrate sera liée à la neutralité optique de la combinaison.

Les choses ne se passèrent qu'en partie comme l'avait espéré M. Pasteur. Le tartrate de soude et d'ammoniaque offrit, comme tous les autres tartrates, la dissymétrie qui s'accuse par l'absence de tout plan de symétrie, c'est-à-dire que la forme de ce sel placé devant une glace montra une image qui ne lui était pas superposable. C'était comme une main droite ayant sa gauche pour image. Quant au paratartrate de soude et d'ammoniaque, une circonstance frappa M. Pasteur d'une manière tout à fait inattendue. Loin de constater sur les cristaux de ce sel, l'absence de toute dissymétrie, il reconnut que tous la

portaient manifestement. Mais, chose étrange, certains cristaux l'offraient dans un sens, les autres dans le sens opposé. Si on plaçait certains de ces cristaux devant un miroir, ils reproduisaient l'image des autres, et l'une de ces sortes de cristaux se confondait rigoureusement pour leur forme avec la forme du tartrate, préparé à l'aide de l'acide tartrique du raisin. M. Pasteur se dit alors : Puisqu'il n'y a aucune différence dans la forme du tartrate qui provient de l'acide tartrique du raisin et de l'une des sortes de cristaux qui se déposent au moment de la cristallisation du paratartrate, je vais séparer manuellement, par l'observation de leur dissymétrie propre, tous les cristaux de la cristallisation du paratartrate qui sont identiques à ceux du tartrate. Je devrài pouvoir, par les procédés chimiques ordinaires, extraire un acide tartrique identique à l'acide tartrique du raisin avec toutes ses propriétés physiques, minéralogiques et chimiques, c'est-à-dire un acide tartrique ayant, comme l'acide tartrique naturel du raisin, la dissymétrie de la forme et l'action sur la lumière polarisée. Par contre, je devrai retirer de la seconde sorte des cristaux, associés aux précédents dans la cristallisation paratartrique, un acide qui reproduira l'acide tartrique ordinaire, mais ayant une dissymétrie de sens inverse et d'action également inverse sur la lumière polarisée.

Avec une ardeur pleine de fièvre, M. Pasteur s'empressa de faire cette double expérience. Quelle fut sa joie lorsqu'il vit ses prévisions se réaliser et se réaliser avec une netteté véritablement toute mathématique! Son saisissement fut si grand qu'il quitta brusquement le laboratoire. A peine sorti, il rencontra le préparateur du cours de physique, et l'embrassa en lui disant :

« Je viens de faire une grande découverte! J'ai séparé le paratartrate double de soude et d'ammoniaque en deux sels de dissymétrie inverse et d'action inverse sur le plan de polarisation de la lumière. Le sel droit est de tout

point identique au tartrate droit. J'en suis si heureux que j'éprouve un tremblement nerveux qui m'empêche de remettre de nouveau l'œil à l'appareil de polarisation. Allons au Luxembourg; je vous expliquerai tout cela! »

Ces résultats frappèrent à un haut degré l'attention de l'Académie des sciences où siégeaient les Arago, les Biot, les Dumas, les de Senarmont et les Balard. On peut dire sans exagération que l'Académie en fut émerveillée. Toutefois, beaucoup de membres ne crurent pas d'emblée à la découverte. Chargé d'en rendre compte, M. Biot commença par exiger de M. Pasteur la vérification de chacun des points annoncés. Dans ce contrôle, M. Biot apporta sa précision habituelle qui fut associée à une sorte de défiance soupçonneuse.

« Il me fit venir chez lui, racontait dans une de ses leçons M. Pasteur, il me remit de l'acide paratartrique qu'il avait soigneusement étudié lui-même et qu'il avait trouvé parfaitement neutre vis-à-vis de la lumière polarisée. Ce ne fut pas au laboratoire de l'École normale, ce fut en sa présence, dans sa cuisine, qu'il me fallut préparer le sel double avec de la soude et de l'ammoniaque qu'il avait également désiré me procurer lui-même. La liqueur fut abandonnée à une évaporation lente, et, au bout de dix jours, lorsqu'elle eut fourni environ 30 à 40 grammes de cristaux, il me pria de passer au Collège de France, afin de recueillir la cristallisation et d'en extraire des cristaux de deux sortes que je placerais, ajouta-t-il, les uns à sa droite, les autres à sa gauche, me demandant de déclarer de nouveau si j'affirmais bien que les cristaux mis à sa droite dévieraient à droite et les autres à gauche. La déclaration faite, il me dit qu'il se chargeait du reste. M. Biot prépara les solutions en proportions bien dosées, et, au moment de les observer dans l'appareil de polarisation, il m'invita de nouveau à me rendre dans son cabinet. Il plaça d'abord dans l'appareil la solution la plus intéressante, celle qui devait dévier à gauche. Sans

même prendre de mesure, par l'aspect seul des teintes des deux images ordinaire et extraordinaire de l'analyseur, il vit qu'il y avait une forte déviation à gauche. Alors, très visiblement ému, l'illustre vieillard me prit le bras et me dit : « Mon cher enfant, j'ai tant aimé les « sciences dans ma vie que cela me fait battre le cœur ! »

L'émotion de M. Biot était d'autant plus vive qu'il avait le premier découvert la polarisation dans des substances chimiques, et que, pendant plus de trente ans, il avait répété que l'étude de ces substances et de leur action sur la polarisation rotatoire était peut-être le plus sûr moyen de pénétrer dans la constitution intime des corps. Tout en accueillant avec déférence ses conseils, on ne les suivait guère. Et voilà qu'apparaissait en face de ce vieillard un peu découragé un jeune homme de vingt-cinq ans, se révélant maître dès son premier travail, dissipant les obscurités de la fameuse note allemande, créant un nouveau chapitre de chimie cristallographique. La composition et la nature de l'acide paratartrique étaient expliquées; une nouvelle substance, l'acide tartrique gauche, vraiment surprenante par ses propriétés, était trouvée; la physique et la chimie moléculaires s'enrichissaient de faits et de théories nouvelles d'une grande valeur.

Le premier soin de M. Pasteur, après avoir trouvé l'acide tartrique gauche et la constitution de l'acide paratartrique, fut de comparer très soigneusement les propriétés du nouvel acide tartrique gauche avec celles de l'acide tartrique droit, s'efforçant d'assigner, par des preuves expérimentales, l'influence sur ces propriétés des arrangements atomiques internes des deux acides. Bien qu'on ne puisse saisir la figure même de ces groupements, il ne saurait être douteux que ces groupements soient formés des mêmes particules élémentaires, qu'ils soient, en outre, dissymétriques et qu'enfin la dissymétrie d'un des groupements soit la même que celle de l'autre, mais en sens inverse. L'assemblage des atomes

de l'acide tartrique droit présente-t-il la forme extérieure d'une pyramide irrégulière, l'assemblage de l'acide tartrique gauche doit nécessairement offrir la forme de la pyramide irrégulière inverse....

M. Pasteur mit en présence de chacun des deux acides dans les mêmes conditions de poids, de température, de quantités de dissolvant, successivement toutes les substances chimiques capables de se combiner avec eux. Il obtint de cette manière les tartrates droits et les tartrates gauches correspondants de potasse, de soude, d'ammoniaque, de chaux et de tous les oxydes proprement dits. Il s'attacha aux combinaisons — et elles sont nombreuses — qui peuvent se déposer dans les liqueurs sous forme de cristaux bien déterminables. Sans entrer dans le détail de ces longues et patientes études, disons d'une manière générale que M. Pasteur reconnut que ce que l'on peut faire avec l'un des acides tartriques, on peut le répéter avec l'autre rigoureusement dans les mêmes conditions et que les produits résultants manifestent constamment les mêmes propriétés, avec cette seule différence, déjà offerte par les deux acides, que chez les uns la déviation du plan de polarisation s'exerce à droite, chez les autres à gauche, et que les formes des espèces gauches correspondantes, encore bien qu'identiques dans tous leurs détails aux espèces droites, ne peuvent leur être superposées. Quant aux autres propriétés chimiques et physiques, l'identité est absolue. Solubilité, réfraction simple des solutions, réfraction double des cristaux, action quelconque de la chaleur pour la décomposition des produits, etc., la similitude va toujours jusqu'à la plus parfaite identité.

L'Académie des sciences, qui montre, en ne les prodiguant pas, l'importance qu'elle attache aux rapports, se fit rendre compte pour la seconde fois de ces nouvelles recherches. M. Biot fut de nouveau rapporteur. Ce fut avec une sorte de coquetterie que M. Pasteur apporta de

Strasbourg [1] des échantillons parfaitement étiquetés à cristallisations magnifiques de la double série des tartrates droits et des tartrates gauches....

M. Biot se promit d'apporter à l'Institut ces éléments de démonstrations si soignés. Le matin du jour où il devait lire son rapport, il resta plusieurs heures à causer avec M. Pasteur; il était pris d'une telle joie, il la laissait déborder avec tant d'émotion que Mme Biot, qui avait pour son mari cette sollicitude particulière aux femmes d'académiciens, se penchant du côté de M. Pasteur, lui dit :

« Je vous en prie, détournez la conversation. Ne répondez pas à ce qu'il vous dit sur vos travaux. Vous le rendriez malade; il ne vit plus depuis que vous faites toutes ces belles choses! »

Les membres de l'Académie partagèrent l'enthousiasme de M. Biot. Arago demanda de décider que le rapport fût inséré dans le Recueil des Mémoires de l'Académie. C'était un honneur exceptionnel. Arrivés presque tous à la fin de leur carrière, ces savants aimaient à regarder ce premier rayon qui n'était pas encore la gloire, mais qui en était le présage.

« Mon jeune ami, disait à quelque temps de là M. Biot à M. Pasteur, en le présentant à Mitscherlich, vous pouvez vous vanter d'avoir fait quelque chose de grand, en trouvant ce qui a échappé à un homme comme celui-là.

— J'avais étudié, répondit Mitscherlich, non sans une nuance de regret, en s'adressant à M. Pasteur, j'avais étudié avec tant de soin et de persévérance, dans leurs moindres détails, les deux sels qui ont fait l'objet de ma note à l'Académie que si vous avez constaté ce que je n'ai pas su trouver, c'est que vous avez dû être guidé par une idée préconçue. »

1. M. Pasteur avait été nommé professeur suppléant à la Faculté de Strasbourg.

Mitscherlich avait raison, et cette idée préconçue, M. Pasteur aurait pu la formuler ainsi : Une dissymétrie dans l'arrangement moléculaire interne d'une substance chimique doit se manifester dans toutes les propriétés externes, capables elles-mêmes de dissymétrie.

Si cette conception théorique était exacte, M. Pasteur devait trouver que toutes les substances chez lesquelles M. Biot avait rencontré le pouvoir de déviation du plan de polarisation possèdent la dissymétrie cristalline accusée par la dissymétrie non superposable. Le résultat fut en grande partie conforme à de telles prévisions. Les substances actives sur la lumière polarisée à l'état fluide ou de dissolution offrirent le plus souvent à M. Pasteur des formes cristallines dissymétriques; mais quelques-unes, bien qu'elles pussent se résoudre en cristaux, ne manifestèrent aucune face dissymétrique. Cette difficulté n'entrava pas M. Pasteur. Elle fut, au contraire, pour lui une occasion de démontrer qu'il ne faut pas s'arrêter, sans l'approfondir, devant l'apparence d'une objection, quand une théorie est juste et qu'elle a déjà fait ses preuves. Est-ce que, se demanda M. Pasteur, cette absence de dissymétrie de forme dans des substances qui ont le pouvoir rotatoire moléculaire ne serait pas une chose toute fortuite, et ne suffirait-il pas de changer les conditions de la cristallisation pour faire apparaître cette dissymétrie?

Alors, afin de modifier les formes cristallines des substances dont la cristallisation ne s'était pas montrée spontanément dissymétrique, M. Pasteur fit usage d'une méthode bien souvent éprouvée, quoiqu'on n'en puisse pas expliquer les principes ni en prévoir les effets. A l'imitation de Romé de Lisle, de Leblanc, de Beudant, M. Pasteur fit varier la nature des dissolvants; il introduisit dans la dissolution tantôt un excès d'acide ou de base, tantôt des matières étrangères incapables de reagir chimiquement sur celles qu'il s'agissait de modifier; il

employa même quelquefois des eaux mères impures. Chaque fois, il fit naître ainsi des facettes nouvelles et chaque fois ces facettes montrèrent le genre de dissymétrie que le caractère optique enseignait à prévoir. Bien qu'il ait dû borner sa recherche aux substances qui, par leur facile cristallisation et la beauté de leurs formes, se prêtent le mieux à ce genre d'épreuves, les résultats furent tellement d'accord avec les prévisions théoriques que nul doute ne peut raisonnablement subsister sur la corrélation nécessaire entre la dissymétrie et le pouvoir de déviation de la lumière polarisée.

Après de telles recherches, M. Pasteur arriva à une conclusion bien singulière, et digne des plus sérieuses méditations, sur la différence qui existe, d'une part, entre les espèces minérales et les produits artificiels et, d'autre part, entre les produits organiques naturels que l'on peut extraire des végétaux et des animaux. Tous les produits minéraux ou artificiels, disons, pour abréger, tous les produits de la nature morte, sont à image superposable, non dissymétriques par conséquent. Les produits des végétaux et des animaux, au contraire, en un mot les produits formés sous l'influence de la vie sont à image non superposable, c'est-à-dire dissymétriques atomiquement, de cette dissymétrie qui se traduit au dehors par le pouvoir de déviation du plan de polarisation. S'il existe des exceptions, ces exceptions sont plus apparentes que réelles....

Il est donc vrai de dire que les produits de la nature morte minérale ou artificielle n'ont jamais présenté jusqu'ici la dissymétrie moléculaire; il est donc vrai d'affirmer que les substances qui ont le plus d'influence dans les manifestations de la vie végétale et animale, qui sont présentes et actives dans la graine ou dans l'œuf au moment du merveilleux *devenir* des espèces végétales et animales, offrent toutes la dissymétrie moléculaire.

Pourrait-on indiquer une séparation plus profonde entre les produits de la nature vivante et ceux de la nature minérale que cette dissymétrie chez les uns et son absence chez les autres? (*M. Pasteur. Histoire d'un savant par un ignorant*, p. 1-35.)

CHAPITRE II

LA QUESTION DES GÉNÉRATIONS SPONTANÉES

« Tout corps sec, disait Aristote, qui devient humide et tout corps humide qui se dessèche, engendre des animaux. » Les abeilles, selon Virgile, naissent des entrailles corrompues d'un jeune taureau. Au temps de Louis XIV, on n'était guère plus avancé. Un célèbre médecin alchimiste, Van Helmont, écrivait : « Les odeurs qui s'élèvent du fond des marais produisent des grenouilles, des limaces, des sangsues, des herbes et bien d'autres choses encore ». Mais ce qui était plus extraordinaire, c'était la véritable recette que donnait Van Helmont pour avoir une potée de souris. Il suffisait de comprimer une chemise sale dans l'orifice d'un vase contenant des grains de blé. Le ferment sorti de la chemise sale, modifié par l'odeur du grain, donnait lieu à la transmutation du froment en souris, après vingt et un jours environ. Van Helmont affirmait avoir vu le fait :

« Creusez, disait-il encore, un trou dans une brique, mettez-y de l'herbe de basilic pilée, appliquez une seconde brique sur la première, de façon que le trou soit parfaitement couvert; exposez les deux briques au soleil, et, au bout de quelques jours l'odeur de basilic, agissant comme ferment, changera l'herbe en véritables scorpions. »

Un naturaliste italien, Redi, fut le premier qui apporta dans cette question de la génération spontanée un examen un peu plus attentif. Observant les vers de la chair en putréfaction, il fit voir que ces vers ne naissaient pas spontanément, qu'ils étaient des larves d'œufs de mouches. Pour empêcher les vers de naître, Redi démontra qu'il suffisait d'entourer d'une gaze fine la chair avant de l'exposer à l'air. Aucune mouche ne venant se poser sur cette chair protégée, il n'y avait point d'œufs déposés, et par conséquent ni larves ni vers. Mais, au moment où la question de la génération spontanée allait s'amoindrissant, circonscrivant de plus en plus son domaine, la découverte du microscope vint apporter à cette doctrine réfugiée dans de petits retranchements de nouvelles et formidables ressources. En présence de ce monde d'animalcules, les partisans de la génération spontanée triomphèrent :

« Nous avons pu, disaient-ils, nous tromper sur l'origine des souris, des vers; mais est-il possible de croire que l'origine des êtres microscopiques ne soit pas le fait d'une génération spontanée? Comment expliquer autrement leur présence et leur pullulation dans toute matière animale ou végétale morte en voie de décomposition? »

Buffon apporta à l'appui de la doctrine de la génération spontanée l'autorité de son nom. Il érigea même tout un système pour soutenir cette hypothèse. En 1745, deux abbés luttèrent vivement ensemble pour attaquer ou défendre cette question. Pendant que Needham, prêtre catholique anglais, adoptait la doctrine de la génération spontanée, le prêtre italien Spallanzani la combattait énergiquement; mais bien que Spallanzani fût resté maître de sa thèse aux yeux du public, sa victoire était plus apparente que réelle, plus dans les mots que dans les faits.

Le problème reparut plus pressant que jamais en 1858. M. Pouchet, directeur du Muséum d'histoire naturelle de

Rouen, correspondant de l'Académie des sciences, déclara à cette Académie qu'il avait réussi à démontrer, d'une façon certaine, absolue, l'existence d'êtres microscopiques venus au monde sans germes, par conséquent sans parents semblables à eux....

M. Pasteur n'hésita pas à faire construire, avec ses propres ressources, un laboratoire dans un des greniers de l'École normale; mais on devine sans peine quelle fut la modestie d'un tel aménagement dans une telle place. Partageant sa vie entre ses devoirs professionnels et ses expériences de laboratoire, M. Pasteur ne sortait guère que pour s'entretenir de ses recherches quotidiennes avec M. Biot, M. Dumas, M. de Senarmont et M. Balard. M. Biot était surtout son confident habituel. Le jour où M. Biot apprit que M. Pasteur se proposait d'étudier l'obscure question des générations spontanées, il le dissuada vivement de s'engager dans une pareille voie.

« Vous n'en sortirez pas, lui disait-il, vous perdrez votre temps.... »

Plus hardi que M. Biot, mais d'une circonspection toujours en éveil, M. Dumas déclara à M. Pasteur, sans du reste insister autrement, qu'il ne conseillerait à personne de rester trop longtemps dans un pareil sujet. Seul, M. de Senarmont prit la défense de M. Pasteur et dit à M. Biot :

« Laissez faire Pasteur. S'il ne trouve rien dans la voie où il s'engage, soyez tranquille, il n'y restera pas. Mais, ajoutait-il, je serais surpris qu'il ne trouvât rien. »

M. Pouchet avait nettement abordé le problème :

« Les adversaires de la génération spontanée, disait-il, prétendent que les germes des êtres microscopiques existent dans l'air, que l'air les charrie, les transporte à distance. Eh bien! que diront ces adversaires si je parviens à déterminer la génération de quelques êtres organisés en substituant un air artificiel à celui de l'atmosphère? »

M. Pouchet imagina alors cette expérience fort ingénieuse. Il remplit un flacon d'eau bouillante, le boucha hermétiquement avec la plus grande précaution et le plongea renversé dans une cuve à mercure. Lorsque l'eau fut totalement refroidie, il déboucha ce flacon sous le métal et introduisit à l'intérieur un demi-litre de gaz oxygène pur, de ce gaz qui est la partie vitale et salubre de l'air, aussi nécessaire à la vie des êtres microscopiques qu'il l'est à la vie des grands animaux et des grands végétaux. Jusqu'à présent, il n'y avait dans le vase que de l'eau pure et du gaz oxygène. M. Pouchet introduisit alors une petite botte de foin pesant quelques grammes. La botte avait été renfermée dans un flacon bouché à l'émeri et sortant d'une étuve chauffée longtemps à plus de 100 degrés. Au bout de huit jours, il y avait dans cette infusion de foin une moisissure développée. D'où venait-elle? s'écriait victorieusement M. Pouchet. Ce n'était assurément pas de l'oxygène, oxygène que M. Pouchet avait fait naître d'une combinaison chimique à la température de l'incandescence. L'eau qui avait été placée bouillante était également privée de germes, puisqu'à une température pareille, pensait-il, tout germe eût été cuit. Le foin ne pouvait pas davantage en contenir. Il sortait d'une étuve chauffée à 100 degrés. Comme on disait cependant que certains êtres chauffés à 100 degrés trouvent le moyen de résister à un pareil traitement, M. Pouchet chauffa le foin à 200, à 300 degrés, à tous les degrés que l'on voulut.

M. Pasteur vint troubler le triomphe de M. Pouchet.

« Oui, dit M. Pasteur, dans une leçon retentissante qu'il fit, en 1864, à la Sorbonne, devant un public immense composé de savants, de philosophes, de femmes du monde, de prêtres et de romanciers — Alexandre Dumas était au premier rang, — tous avides de vérité, remués par tous les problèmes qu'agitait une telle question, oui, l'expérience ainsi conduite est irréprochable,

mais irréprochable seulement sur tous les points qui ont attiré l'attention de l'auteur. Je vais démontrer qu'il y a une cause d'erreur que M. Pouchet n'a pas aperçue, dont il ne s'est pas le moins du monde douté, dont personne ne s'était douté avant lui, et cette cause d'erreur rend son expérience complètement illusoire, aussi mauvaise que celle du pot de linge sale de Van Helmont : je vais vous montrer par où les souris sont entrées. Je vais démontrer que, dans toute expérience de ce genre, il faut absolument proscrire l'emploi de la cuve à mercure. Je vais vous démontrer enfin que c'est le mercure qui apporte dans les vases les germes ou plutôt, pour que mon expression n'aille pas au delà du fait démontré, les poussières qui sont en suspension dans l'air. »

Pour rendre visibles les poussières en suspension, M. Pasteur, après avoir fait l'obscurité dans la salle, perça cette obscurité d'un faisceau de lumière. Alors apparurent, dansant et tourbillonnant dans les rayons lumineux, mille petits brins de poussière.

« Si nous avions le temps de les bien regarder, continua M. Pasteur, nous les verrions, quoique agités de mouvements divers, tomber plus ou moins vite. C'est ainsi que se couvrent de poussière tous les objets, ces meubles, cette table, le mercure de cette cuve. Depuis que ce mercure est sorti de sa mine, que de poussières il a reçues, indépendamment de celles qui s'incorporent sans cesse dans l'intérieur du métal par l'effet des manipulations nombreuses auxquelles il est soumis dans le laboratoire ! Il n'est pas possible de toucher à ce mercure, d'y placer la main, un flacon, sans introduire dans l'intérieur de la cuve les poussières qui sont à la surface. Vous allez voir ce qui se passe. »

Alors, projetant, au milieu d'une profonde obscurité, le jet de lumière sur la cuve à mercure et le métal liquide apparaissant dans son éclat habituel, M. Pasteur saupoudra de poussières le mercure. Puis il prit un bâton

de verre et l'enfonça. Toutes les poussières cheminèrent et se dirigèrent du côté de l'endroit où plongeait le bâton de verre. Toutes pénétrèrent dans l'espace contenu entre le verre et le mercure.

« Oui, s'écria M. Pasteur, d'une voix vibrante et grave où l'on sentait toute sa probité de savant convaincu, oui, M. Pouchet avait éloigné les germes de l'eau, du foin, mais ce qu'il n'avait pas éloigné, c'étaient les poussières qui se trouvaient à la surface du mercure. Et voilà quelle a été la cause de l'erreur, voilà ce qui détruit tout le système! »

M. Pasteur institua des expériences toutes semblables à celles de M. Pouchet, mais en éloignant d'une manière absolue les causes d'erreur qui avaient échappé à ce dernier. Il prit également un ballon de verre, mais à col allongé, qu'il recourba et fit communiquer avec un tube de platine disposé sur un fourneau, de façon qu'on pût le chauffer à une température élevée et même voisine du rouge. Dans le ballon, il avait placé des liquides très putrescibles, de l'urine, par exemple. Lorsque le fourneau qui entourait le tube de platine fonctionna, M. Pasteur fit bouillir l'urine pendant quelques minutes; puis il laissa refroidir le liquide, mais sans arrêter le feu qui chauffait le tube de platine. Pendant le refroidissement du ballon, contenant l'urine, l'air extérieur y rentrait, mais après avoir passé par le tube de platine rougi. Dans ces conditions, l'urine se trouvait mise au contact d'un air chauffé, mais dont tous les germes qu'il pouvait tenir en suspension se trouvaient brûlés.

Dans une expérience ainsi faite, l'urine ne s'altère jamais, elle éprouve seulement une très faible oxydation directe qui fonce un peu sa couleur, mais elle n'éprouve de putréfaction d'aucune sorte. Lorsqu'on veut répéter cette expérience avec des liquides alcalins, tels que le lait, la température d'ébullition doit être un peu dépassée, circonstance facile à réaliser avec l'appareil qui vient

d'être décrit. On ajoute à l'extrémité libre du tube de platine un tube de verre recourbé à angle droit, plongeant de quelques décimètres dans une cuve à mercure profonde, tant que dure l'ébullition du lait. Cette ébullition se fait alors sous une pression plus grande que la pression atmosphérique, et, par conséquent, à une température plus élevée que 100 degrés.

Mais il fallait établir que les poussières qui flottent dans l'air renferment des germes d'organismes inférieurs. M. Pasteur plaça dans un tube une bourre de coton et aspira, à l'aide d'une petite trompe à eau, de l'air qui était obligé de passer dans le tube où il se filtrait pour ainsi dire en déposant toutes ses poussières dans la bourre. Prenant alors un verre de montre, M. Pasteur mit sur ce verre une goutte d'eau, y plaça un instant la bourre de coton, la reprit légèrement humide, la malaxa et fit tomber sur une lamelle de verre cette goutte d'eau salie. M. Pasteur ajouta sur le verre une seconde, puis une troisième goutte et finit par extraire et rassembler sur la lamelle presque toutes les poussières contenues dans la bourre. L'opération est simple et chacun peut la faire. Si l'on observe alors au microscope une goutte prise sur la lamelle, on distingue des fragments de suie, des débris de laine, de soie, de coton, tout ce qu'on pourrait appeler les poussières mortes, et au milieu de ces poussières mortes apparaissent des poussières vivantes, c'est-à-dire des êtres appartenant au règne végétal ou au règne animal, des œufs d'infusoires et des spores de cryptogames. Germes, animalcules, flocons de moisissures se trouvent répandus dans l'atmosphère, prêts à tomber dans le milieu qui leur est favorable et à se développer prodigieusement.

Ces petits corps d'apparence organisée que l'on rencontre associés au milieu de poussières amorphes et qu'on recueille sur la bourre de coton, sont-ils bien des germes d'êtres microscopiques? Si l'expérience renouvelée

de celle de M. Pouchet est irréprochable, l'interprétation que lui donnait M. Pasteur n'était peut-être pas rigoureusement démontrée. En face du problème de l'origine de la vie, toutes les hypothèses sont possibles, tant que la vérité n'a pas été mise en pleine lumière. On pouvait donc dire à M. Pasteur : Oui, si l'air qui a passé à travers un tube de platine contient des germes et qu'il soit mis ensuite au contact d'un liquide tel que l'urine, préalablement porté à l'ébullition, il est clair que cet air ne peut provoquer ni fermentation, ni putréfaction, ni formation d'organismes, parce que les germes de ces derniers, qui étaient en suspension dans l'air, ont perdu toute vitalité en passant à travers le tube de platine rougi au feu. Mais de quel droit parlez-vous de germes? Qui vous dit que, pour déterminer l'existence et l'apparition d'un être microscopique dans un liquide putrescible ou fermentescible, il faille, comme vous le prétendez, l'existence préalable de germes? Le *primum movens* de la vie des êtres microscopiques ne peut-il pas consister tout entier dans un milieu approprié, mis en activité par un certain fluide, magnétisme, électricité, ozone même? Or, par le passage de l'air dans votre tube de platine chauffé au rouge, vous détruisez tout cela, et la stérilité de votre ballon d'urine n'a rien qui doive étonner.

Les partisans de la génération spontanée avaient souvent développé ce raisonnement d'apparence redoutable. Aussi M. Pasteur jugea-t-il nécessaire de pousser plus avant encore qu'il ne l'avait fait la preuve que les bourres de coton, sur lesquelles il avait filtré de l'air, étaient bien réellement chargées de germes.

Par un ingénieux dispositif expérimental, il ensemença les bourres de coton, chargées de poussières de l'air, dans ces mêmes liquides de tout à l'heure, tels que l'urine rendue stérile par l'ébullition. Les liqueurs devinrent fécondes, plus fécondes même que si on les eût exposées au libre contact de l'air atmosphérique. Or, qu'y

avait-il dans ces poussières des bourres? rien que des particules amorphes, soies, brins de coton, fécule et, en outre, de très petits corps qui, par leur translucidité et leur structure, se confondaient avec des germes d'êtres microscopiques. On ne pouvait invoquer aucune présence de fluides impondérables.

Craignant toutefois que, dans un dernier esprit de doute, on n'attribuât au coton, en le considérant comme une matière organique, une influence quelconque dans la fécondité des infusions, M. Pasteur remplaça les bourres de coton par des bourres d'amiante, préalablement portées au rouge : le résultat fut le même. (*M. Pasteur. Histoire d'un savant par un ignorant*, p. 113-130.)

Les générations spontanées.

Plus heureux que les inventeurs du mouvement perpétuel, les hétérogénistes auront longtemps encore la faveur de provoquer l'attention des corps savants. Dans l'ordre des sciences mathématiques, on peut démontrer que telle proposition n'est pas et ne saurait être; mais les sciences de la nature sont moins bien partagées. Les mathématiciens peuvent dédaigner de jeter les yeux sur tout mémoire qui a pour objet la quadrature du cercle ou le mouvement perpétuel; la question des générations dites *spontanées* a toujours, au contraire, le privilège de passionner l'opinion publique, parce qu'il est impossible, dans l'état actuel de la science, de prouver, *à priori*, que la manifestation de la vie ne peut avoir lieu de prime saut, en dehors de toute vie antérieure semblable.

Qu'un observateur quelconque avance avoir découvert un dispositif propre à faire naître la vie spontanée, il peut être assuré de la prompte adhésion de tous les adeptes systématiques de sa doctrine, et d'éveiller le doute parmi ceux qui n'ont acquis qu'une connaissance plus ou moins

superficielle du. sujet. Les travaux dont je parle seront plus remarqués encore si l'auteur se présente avec une situation élevée, un talent de dialectique et d'écrivain et des recherches consciencieuses.

Voilà bientôt vingt années que je poursuis, sans la trouver, la recherche de la vie sans une vie antérieure semblable. Les conséquences d'une telle découverte seraient incalculables. Les sciences naturelles en général, la médecine et la philosophie en particulier, en recevraient une impulsion que nul ne saurait prévoir. Aussi, dès que j'apprends que j'ai été devancé, j'accours auprès de l'heureux investigateur, prêt à contrôler ses assertions. Il est vrai que j'accours vers lui plein de défiance. J'ai tant de fois éprouvé que dans cet art difficile de l'expérimentation, les plus habiles bronchent à chaque pas et que l'interprétation des faits n'est pas moins périlleuse! (PASTEUR, *Note sur l'altération de l'urine*, à propos d'une communication du Dr Bastian, de Londres. — *Comptes rendus de l'Ac. des sciences*, t. LXXXIII, p. 177. 1876.)

CHAPITRE III

FERMENTS ET MALADIES

Les liqueurs vineuses doivent leur alcool au sucre qu'elles contenaient; dans le moût de raisin comme dans le moût de bière, le changement s'est opéré par la fermentation qui a converti la matière sucrée en alcool et en acide carbonique. Une seconde fermentation tourne bientôt à l'acescence la plupart des liqueurs vineuses exposées à l'air. C'est ainsi que les fruits ou les conserves sucrées qui fermentent offrent si souvent à la fois l'odeur de l'alcool et celle du vinaigre mélangées.

Ces transformations du sucre ne sont pas les seules qu'il puisse éprouver par la fermentation. M. Pelouze en a étudié avec soin deux autres, la fermentation visqueuse et la fermentation lactique; il en a découvert une de plus, la fermentation butyrique. Ajoutons de suite, pour marquer l'intérêt qui s'attache à ces dernières, que la formation de l'alcool et celle du vinaigre sont des phénomènes qui ne s'accomplissent jamais dans les tissus vivants des animaux ou des plantes d'un ordre supérieur. Il en est autrement des fermentations visqueuse, lactique, butyrique; elles tendent à ramener le sucre vers une forme assimilable, et leurs produits se rencontrent parmi les matériaux de la vie dans les êtres organisés supérieurs, puisque l'acide lactique appartient à leur sang et à leur chair, l'acide butyrique à leur lait.

Du sucre, de la craie, du gluten étant mis ensemble dans la quantité d'eau convenable et étant maintenus entre 10° et 40°, la liqueur perd sa limpidité, prend avec l'odeur du lait aigri la consistance du blanc d'œuf et la dépasse souvent, au point que l'on peut renverser le vase sans que le liquide s'écoule. C'est la fermentation visqueuse qui s'est accomplie et qui a converti le sucre en une espèce de gomme. La craie est restée intacte.

Peu à peu la viscosité diminue, des gaz se dégagent, la craie se dissout, des cristaux apparaissent flottant dans la liqueur; ils augmentent en nombre, et le tout se prend en masse, comme le plâtre. La fermentation lactique est accomplie; le lactate de chaux est formé.

A son tour, celui-ci se redissout; les gaz continuent à se dégager, et, après plusieurs semaines, la liqueur redevenue limpide, l'acide butyrique y a remplacé l'acide lactique et l'on n'y trouve que du butyrate de chaux.

Voilà les faits, c'est-à-dire trois changements complets, dans un court espace de temps et sans cause apparente.

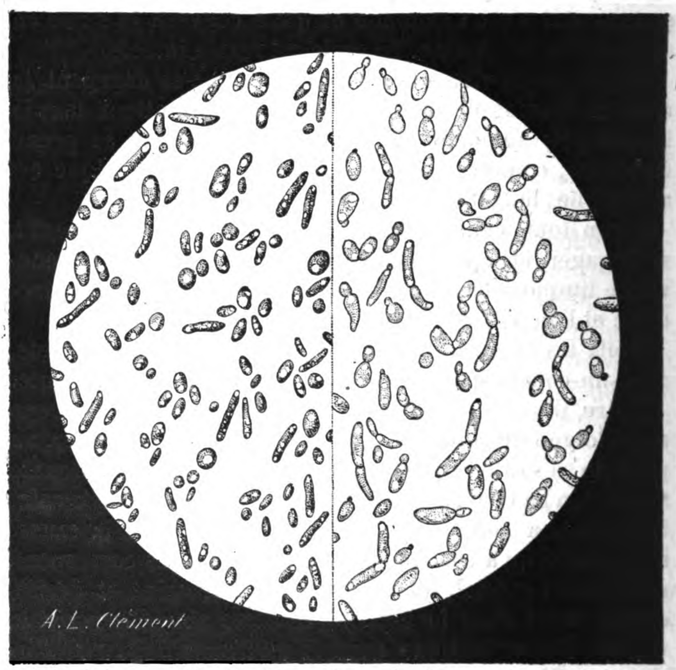
Notre illustre confrère, M. Pasteur, que son courage seul éloigne de cette enceinte et qui a voulu continuer, au péril de sa santé et presque de sa vie, la mission dont le Souverain l'a chargé dans l'intérêt de l'industrie de la soie, M. Pasteur a complété ce tableau. Remontant à la cause, il a montré qu'à chacune de ces fermentations correspond un ferment spécial, qu'il a reconnu, déterminé et décrit, et qui, semé dans le liquide, accélère singulièrement la marche des opérations dont il est l'agent. (DUMAS, *Discours et Éloges académiques*, t. I, p. 166.)

Les Fermentations.
Leur définition. — Leur rôle.

Je suis donc très porté à voir dans l'acte de la fermentation alcoolique un phénomène simple, unique, mais très complexe comme peut l'être un phénomène corrélatif de

la vie, donnant lieu à des produits multiples, tous nécessaires.

Les globules de levure, véritables cellules vivantes, auraient pour fonction physiologique corrélative de leur vie, la transformation du sucre, à peu près comme les



Cellules de levure vieilles disjointes. Leur rajeunissement dans un moût sucré.

Fig. 20.

cellules de la glande mammaire transforment les éléments du sang dans les divers matériaux du lait, corrélativement à leur vie et aux mutations de leurs tissus.

Mon opinion présente la plus arrêtée sur la nature de la fermentation alcoolique est celle-ci : l'acte chimique de la fermentation est essentiellement un phénomène corré-

latif d'un acte vital, commençant et s'arrêtant avec ce dernier. Je pense qu'il n'y a jamais fermentation alcoolique sans qu'il ý ait simultanément organisation, développement, multiplication de globules, ou vie poursuivie, continuée, de globules déjà formés. L'ensemble des résultats de ce mémoire me paraît en opposition complète avec les opinions de MM. Liebig et Berzélius.

Je professe les mêmes idées au sujet de la fermentation lactique, de la fermentation butyrique, de la fermentation de l'acide tartrique et de beaucoup d'autres fermentations proprement dites que j'étudierai successivement.

Maintenant en quoi consiste pour moi l'acte chimique du dédoublement du sucre et quelle est sa cause intime? J'avoue que je l'ignore complètement.

Dira-t-on que la levure se nourrit de sucre pour le rendre ensuite comme un excrément sous forme d'alcool et d'acide carbonique? Dira-t-on au contraire que la levure produit en se développant une matière telle que la pepsine, qui agit sur le sucre et disparaît aussitôt épuisée, car on ne trouve aucune substance de cette nature dans les liqueurs? Je n'ai rien à répondre au sujet de ces hypothèses. Je ne les admets ni ne les repousse et veux m'efforcer toujours de ne pas aller au delà des faits. Et les faits me disent seulement que toutes les fermentations proprement dites sont corrélatives de phénomènes physiologiques. (PASTEUR, *Mémoire sur la fermentation alcoolique*. Paris, 1860, p. 40.)

*
* *

En résumé, la fermentation est un phénomène très général. C'est la vie sans air, c'est la vie sans oxygène libre, ou, plus généralement encore, c'est la conséquence d'un travail chimique accompli au moyen d'une substance fermentescible capable de produire de la chaleur par sa

décomposition, travail qui emprunte précisément la chaleur qu'il consomme à une partie de la chaleur que la décomposition de cette substance fermentescible met en liberté. La classe des fermentations proprement dites se trouve restreinte cependant par le petit nombre des substances capables de se décomposer avec production de chaleur et pouvant servir à l'alimentation des êtres inférieurs en dehors de la présence et de l'action de l'air. (PASTEUR, *Études sur la bière*. Paris, Gauthier-Villars, 1 vol. in-8, 1876, p. 261.)

*
* *

Le jus de raisin, abandonné à lui-même, devient, on le sait, le siège d'une production continue de bulles gazeuses qui y déterminent une sorte de bouillonnement. En même temps sa saveur sucrée disparaît. Elle est remplacée par une saveur nouvelle, aimée de l'homme, qui, à toutes les époques, sous tous les climats, a recherché avec avidité les boissons fermentées, et a honoré comme des dieux ceux qui lui ont appris à les connaître et à les préparer.

Mais, si l'observation du phénomène est ancienne, il n'y a pas bien longtemps qu'on en a pénétré la nature intime. Il a fallu pour cela, non seulement trouver les moyens d'isoler le sucre et l'alcool, chose relativement facile et faite depuis un temps immémorial, mais apprendre à recueillir le gaz qui se dégage, et à reconnaître que ce gaz est de l'acide carbonique, ce qui ne s'est fait qu'au siècle dernier. Il a fallu enfin préciser les relations qui liaient la disparition du sucre à la production de l'alcool et de l'acide carbonique, ce qui a été l'une des plus belles œuvres de Lavoisier [1].

L'expérience qu'il a faite pour cela est aussi simple que probante. Sur une bonne balance, il pèse un vase rempli

1. Voir plus haut, p. 517.

d'eau dans laquelle il a dissous un poids connu de sucre, et ajouté un peu de levure pour y provoquer une fermentation alcoolique régulière. Au bout de quelque temps, lorsque tout est terminé, il pèse de nouveau le même vase et mesure, par la perte de poids subie, l'acide carbonique dégagé. Il isole ensuite par des distillations successives l'alcool formé, le pèse et trouve enfin que la somme des poids de l'alcool et de l'acide carbonique reproduit à très peu près les poids du sucre primitif. La fermentation est donc un simple dédoublement du sucre en alcool et en acide carbonique.

Le retentissement de cette découverte fut immense. Le mécanisme si obscur de la fermentation, qui avait paru jusque-là, suivant l'expression de Fourcroy, un des mystères les plus impénétrables de la nature, se trouvait subitement éclairé et ramené à une formule simple.

Pourtant le problème n'était pas complètement résolu. Lavoisier en avait élucidé le côté chimique. Il en avait complètement négligé ce que nous appelons aujourd'hui le côté physiologique, celui qui depuis s'est le plus développé.

Qu'était-ce que cette levure qu'on était obligé d'ajouter à l'eau sucrée pour la faire fermenter, sans laquelle le phénomène ne se produisait pas, et qui semblait pourtant ne jouer aucun rôle dans son explication? On la connaissait comme une espèce d'écume superficielle ou de dépôt de fond des liqueurs fermentées, en qui résidait une force occulte. Sa composition la rapprochait des substances animales. Quant à sa forme, déjà en 1680, Leuwenhoeck avait vu qu'examinée au microscope, elle se présentait comme un amas de globules ovoïdes ou sphériques. Cette observation, restée oubliée et stérile, fut refaite depuis par divers savants, et resta tout aussi stérile. Ce fut en 1836 seulement que Cagniard-Latour lui imprima son caractère fécond. En ensemençant dans du moût de bière ces globules ovoïdes et isolés de levure, il vit qu'au

bout de quelque temps, chacun d'eux avait bourgeonné et était devenu double. Ces deux globules unis bourgeonnaient à leur tour, et quelques heures après on les retrouvait en groupes multiples, rappelant par leur forme et leur mode de végétation certaines plantes grasses de nos jardins. La levure était donc quelque chose de vivant. Cagniard-Latour a le mérite d'avoir insisté sur ce fait et d'avoir ajouté que, si la levure agissait sur le sucre c'était, probablement, *par quelque effet de sa végétation et de sa vie.*

Cette idée heurtait trop violemment les opinions reçues pour être admise sans conteste. Il faut avouer d'ailleurs qu'elle ne se défendait guère contre les objections. Elle n'avait pour base que la forme globuleuse de la levure et son bourgeonnement. Mais un micrographe illustre, Ehrenberg, avait montré que beaucoup de précipités chimiques, minéraux et organiques avaient aussi des formes arrondies. Quant au bourgeonnement, il pouvait être une illusion résultant du rapprochement fortuit, sous le microscope, d'un gros globule et d'un petit. Comment d'ailleurs croire à l'importance du rôle joué par la levure dans la fermentation alcoolique, lorsque dans d'autres fermentations très voisines, dont l'analogie avec celle du sucre ne pouvait être contestée, on ne retrouvait rien de pareil? Telles étaient la fermentation lactique, la fermentation butyrique, celle qui donne le pain. En revanche, toutes ces fermentations si diverses présentaient un caractère commun, celui d'exiger, pour leur mise en train, une matière organique en voie de décomposition. Pour la fermentation lactique, c'était du lait aigri, du vieux fromage; pour la fermentation panaire, du levain; pour la fermentation butyrique, de la viande pourrie. Avec les mêmes matériaux, on pouvait produire aussi des fermentations alcooliques. Comment se figurer que l'agent actif dans tous ces phénomènes ne fût pas le même, à savoir cette matière organique en voie de destruction qui

transmettait au composé fermentescible le mouvement de décomposition qui l'animait elle-même? La levure de bière, matière azotée, devait agir de la même façon, non par suite de son bourgeonnement et de sa vie, mais par suite du procès de dissolution dont elle était le siège.

Telle est en effet l'interprétation proposée en 1839 par Liebig, et soutenue par lui jusqu'à sa mort. (Duclaux, *Ferments et Maladies*, p. 4-7. Paris, Masson, 1882.)

Le seul éloge qu'on puisse faire de cette interprétation, c'est de n'avoir cédé la place qu'à une théorie portant le nom, encore plus grand, de M. Pasteur. Il a suffi à ce savant, pour ruiner la théorie de Liebig, donner à l'idée de Cagniard-Latour la sanction expérimentale dont elle avait besoin, et lancer la science dans les voies fécondes qu'elle parcourt aujourd'hui, d'une seule expérience bien faite. La voici.

Dans un milieu tout à fait débarrassé de cette matière organique à laquelle Liebig donne le premier rôle, ne renfermant que du sucre, un sel ammoniacal destiné à fournir de l'azote, et des éléments minéraux convenablement choisis, on introduit quelques milligrammes de levure comme semence, et on voit, corrélativement, une fermentation régulière se déclarer avec les caractères ordinaires. Du gaz acide carbonique se dégage, et le sucre disparaît, laissant à sa place de l'alcool parfaitement pur [1]. Pendant ce temps, la levure, au lieu de se détruire et de se décomposer comme le veut la théorie de Liebig, bourgeonne, se multiplie, et on en retire vingt, cent, mille fois ce qu'on en a semé; car, théoriquement

1. Une de ces fermentations, accomplies dans un milieu purement minéral, a figuré parmi les objets provenant du laboratoire de M. Pasteur, à l'Exposition d'hygiène de Londres, en 1884. Les anciennes étiquettes qu'elle portait et qu'on y avait laissées prouvaient qu'elle était vieille de dix ans. L'aspect du liquide, sa limpidité prouvaient qu'elle était restée pure. — Duclaux.



et pratiquement, il suffit de quelques globules, ne pesant pas un dixième de milligramme, pour mettre la fermentation en train, et on obtient plus d'un gramme de levure en faisant fermenter 100 grammes de sucre. Cagniard-Latour avait donc raison, et si nous ne saisissons pas encore le mécanisme obscur par lequel la vie de la levure se relie à la fermentation du sucre, nous avons le droit d'affirmer que les deux faits sont connexes, puisque le premier ne va pas sans le second, ni le second sans le premier.

C'est le caractère à la fois séduisant et irritant de la science que tout pas en avant en prépare et en sollicite un nouveau. Un détail de l'expérience précédente doit nous donner à réfléchir. Nous avons vu que le poids de levure récoltée représente environ un pour cent du poids du sucre. Cette levure est un être vivant, et a toute la complexité de composition des êtres vivants. Elle contient, en petite quantité, des matières minérales, parmi lesquelles du phosphore et du soufre, qu'elle a choisies dans le mélange de sels qu'on lui a offert; en quantité un peu plus grande, des matières azotées, dont les éléments ont été puisés partie dans le sucre, partie dans le sel ammoniacal; enfin, et surtout, des matières hydrocarbonées, dont tous les éléments proviennent du sucre. C'est, en somme, du sucre qu'elle a tiré presque tous les matériaux de ses tissus, et ce qu'elle a soustrait pour cela n'a évidemment pu subir la fermentation alcoolique. Une fraction de ce sucre, que nous pouvons évaluer en gros à un pour cent du poids total, ne donne ni alcool ni acide carbonique, il donne de la levure.

Les résultats de Lavoisier ne peuvent donc pas être exacts, et M. Pasteur a même montré qu'ils l'étaient beaucoup moins qu'on aurait pu croire. L'acide carbonique et l'alcool ne sont pas en effet, contrairement à ce qu'on croyait avant lui, les *seuls* produits de la fermentation alcoolique. Un peu plus de trois pour cent du sucre

donnent de la glycérine, un peu moins de un pour cent donne de l'acide succinique. En somme, cinq pour cent du sucre échappent à l'équation de Lavoisier, à ce dédoublement en parties à peu près égales d'alcool et d'acide carbonique que subissent seuls les 95 pour cent de sucre restants, lorsque la fermentation se fait dans les conditions ordinaires.

Et voilà que ce phénomène n'a plus pour nous l'aspect simple que nous lui trouvions en commençant, et que nous rattachions si naturellement à la simplicité de sa cause. Il ne peut plus être question d'une simple dislocation chimique de la molécule du sucre. Aux dépens de cette molécule, nous voyons la levure former des tissus variés, de la matière azotée, de la cellulose, de la matière grasse. En même temps, le sucre subit les transformations les plus variées, devient de l'acide carbonique, de l'alcool, de la glycérine, de l'acide succinique, donne en proportions plus faibles d'autres corps que je pourrais citer, et d'autres encore que la science n'a pas encore appris à isoler, parce qu'il n'y a pas de chimie plus difficile que celle des êtres vivants. A la place du problème chimique que Lavoisier semblait avoir résolu, nous voyons se dresser un problème physiologique plus compliqué, plus délicat, mais aussi plus grand et plus fertile en conséquences.

Il en est une que nous devons signaler de suite, et dont l'importance va nous arrêter un instant. Prenons pour cela une infusion organique, le moût de bière par exemple. N'y semons pas de levure, et, pour le protéger contre les altérations dont nous le savons si facilement menacé, faisons-le bouillir pendant quelques minutes. Puis, laissons-le refroidir dans un vase bien bouché. Quel va être le sort de ce moût ainsi conservé?

La question paraît simple à résoudre. Elle l'est si peu qu'elle a fait l'objet d'un procès de deux siècles de durée, dans lequel sont intervenus d'illustres savants de toutes

les nations. L'Italie y est représentée par Redi et Spallanzani; l'Angleterre, par Needham et Tyndall; la Hollande, par Swammerdam; l'Allemagne, par Schwann, Schulze, Helmholtz et Liebig; la France, par Buffon, Lavoisier, Gay-Lussac et Pasteur. La solution que ce dernier a donnée au procès, solution acceptée aujourd'hui de quiconque sait comprendre la valeur d'une preuve, nous permet d'affirmer ceci, que le moût de bière ainsi conservé gardera indéfiniment ses propriétés originelles. Dix, vingt ans après, on le retrouvera tel qu'on l'a laissé; s'il restait de l'air dans le flacon et si ce flacon a été laissé à l'obscurité, cet air n'aura perdu que des traces d'oxygène, remplacées par un volume à peu près équivalent d'acide carbonique. En d'autres termes. il n'y aura eu qu'une combustion insignifiante des matériaux du moût, se traduisant par un léger changement dans la saveur. Mais quant au sucre, à la matière azotée, à tous les éléments de ce liquide si complexe, le temps les respectera. Ils sont inaltérables et quasi éternels dans les conditions où nous les avons placés.

Il n'en va pas ainsi pour le moût ensemencé de levure ou abandonné à l'envahissement des espèces microscopiques. Le sucre se détruit, des gaz se dégagent, emportant dans l'air sous forme d'acide carbonique, d'hydrogène ou de carbures d'hydrogène, une partie de la matière organique de la liqueur. S'il y a eu fermentation régulière, l'alcool sert temporairement de protection à la bière; mais si on garde celle-ci trop longtemps, on la voit se couvrir de pellicules superficielles, de *fleurs*, dont le rôle est de brûler l'alcool en portant sur lui l'oxygène qu'elles puisent dans l'air. L'alcool disparu, le liquide se détériore de plus en plus, des moisissures variées apparaissent à la surface, détruisant et gazéifiant tout ce qu'elles rencontrent de matière organique, et, en quelques semaines, souvent en quelques jours, si les conditions sont favorables, à la place des 100 grammes de

matériaux divers que renfermait un litre de bière, on ne trouve plus que quelques centigrammes de détritus. En cela se résume l'œuvre de la levure et des autres microbes que la bière a nourris simultanément ou successivement. Ils ont détruit, c'est-à-dire ramené aux formes simples d'eau, d'acide carbonique, d'hydrogène, d'ammoniaque, toute la matière organique venue à leur portée.

Et ce fait n'est pas particulier au moût de bière. En quelque temps et en quelque lieu que se décompose de la matière organique, qu'il s'agisse de la destruction d'un brin d'herbe ou d'un chêne, d'un ciron ou d'une baleine, l'œuvre s'accomplit à peu près exclusivement par les infiniment petits. Ils sont les grands, presque les uniques agents de l'hygiène du globe; ils en font disparaître, plus rapidement que les chiens de Constantinople ou les fauves du désert, les cadavres de tout ce qui a eu vie. Ils protègent les vivants contre les morts. Ils font même plus. S'il y a encore des vivants, si depuis les centaines de siècles que ce monde est habité la vie s'y poursuit, toujours également facile et abondante, c'est encore à eux qu'on le doit.

Il suffit en effet d'un instant de réflexion pour voir que la vie, celle des grands végétaux comme celle des animaux herbivores ou carnassiers, n'est autre chose que la mise en œuvre, l'organisation des gaz empruntés à l'atmosphère ou des matières azotées et salines existant en dissolution dans l'eau. On peut avec de l'air et les éléments gazeux qu'il renferme, avec de l'eau et les matières qu'y apportent les pluies, faire vivre et se développer le plus gros chêne, dont la masse organique dépasse de plusieurs centaines de fois celle qu'on pouvait trouver toute faite à l'origine, dans le volume de terre où il a enfoncé ses racines. Un chêne, une herbe, un animal nourri d'herbe, un carnivore faisant sa proie d'un herbivore, ont été originairement de l'eau, de l'acide carbonique, des sels ammoniacaux, des matières miné-

rales solubles. Mais une fois produite, cette matière organique est devenue solide, insoluble dans l'eau; elle est immobilisée, incapable d'alimenter une vie végétale nouvelle, et si elle s'éternisait à cet état, si ses éléments ne rentraient pas dans le courant général, dans la circulation aérienne ou aqueuse du globe, l'atmosphère se dépouillerait bientôt de ses éléments organisables, l'eau de ses matériaux nutritifs, et la vie deviendrait impossible à la surface du globe.

Si donc l'atmosphère et l'eau regagnent incessamment ce que le monde vivant leur enlève sans cesse, si elles gardent leur composition et leurs vertus fécondantes, si, par suite, des générations nouvelles peuvent se succéder sans fin, héritant non seulement de la forme, mais de la matière des générations précédentes, c'est parce qu'au monde des êtres que nous connaissons le mieux est juxtaposé ce monde d'êtres infimes que nous commençons à peine à connaître. Nous voyions tout à l'heure en eux les grands facteurs de l'hygiène publique, nous y trouvons maintenant les agents indispensables du maintien de la vie.

Ils sont bien petits, dira-t-on, pour une pareille tâche! La remarque est juste et va nous permettre de mettre en évidence une des particularités les plus curieuses de l'histoire de ces petits êtres, celle qu'il faudra nous habituer à voir contenue dans l'expression de *ferments*. Nous venons de voir que leur rôle est de détruire la matière organique; or les grands animaux en détruisent aussi, pour les besoins de leur alimentation. Mais voici la différence. Un homme consomme par jour une quantité d'aliments égale à un cinquantième de son poids. La levure de bière peut transformer par jour quatre à cinq fois son poids de sucre, c'est-à-dire deux cents fois plus que l'homme, et ce n'est pas le ferment le plus actif. L'agent ordinaire de l'acétification de la bière peut faire disparaître en un jour de 50 à 100 fois son poids d'alcool, et

beaucoup d'autres microbes atteignent ou dépassent même ce degré de puissance.

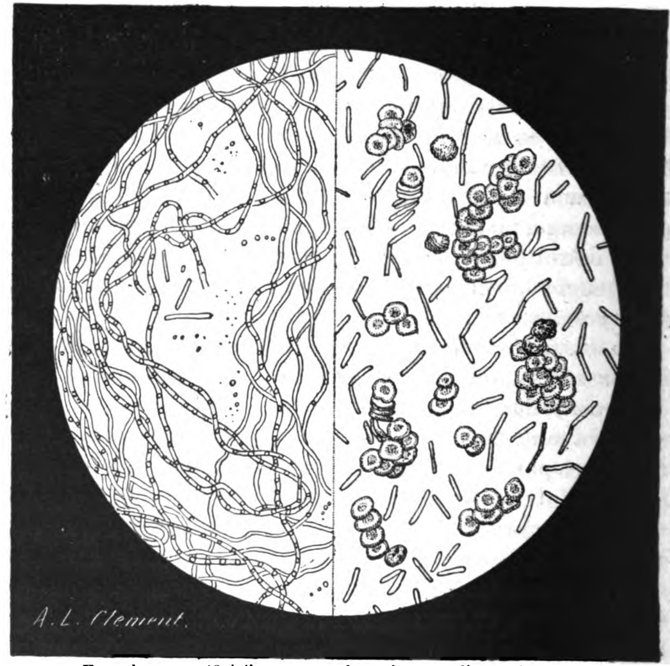
Nous verrons bientôt quelles peuvent être les raisons profondes de cette différence singulière dans l'activité spécifique des microbes et des grands animaux. Prenons-la maintenant comme un fait. Elle nous explique comment les ferments peuvent suffire à leur lourde tâche; elle nous explique aussi comment, malgré l'importance du rôle qu'ils jouent, ils ont pu rester si longtemps ignorés ou méconnus. Leur infinie petitesse a, comme contre-partie, leur activité prodigieuse. De là, pour l'étude que nous allons avoir à en faire, un caractère spécial, parfois un peu étrange, auquel l'esprit a quelque peine à s'habituer, et qu'il faut pourtant bien saisir, si on ne veut pas passer en aveugle dans ce monde des infiniment petits, si riche en découvertes.

Un exemple curieux, par lequel je termine, va nous montrer ce qu'on peut attendre de l'intervention de l'idée de ferment dans l'étude des phénomènes de la vie, et nous révélera une autre face, non la moins intéressante, du rôle joué par les microbes dans l'économie générale du monde.

Une des maladies du bétail les plus meurtrières est celle qu'on désigne chez les moutons sous le nom de *sang de rate*, chez les bêtes à cornes sous le nom de *charbon*, chez l'homme sous le nom de *pustule maligne*. En dehors des pertes qu'elle occasionne et dont le chiffre s'élève annuellement à des millions, elle frappe l'imagination par la soudaineté de son apparition et de sa marche. Quelques jours à peine, souvent quelques heures seulement séparent le moment de la mort de celui où l'animal a paru malade.

Or, en 1851, deux médecins français, MM. Rayer et Davaine, en examinant au microscope le sang d'animaux morts de cette affection, y avaient constaté l'existence de petits corps filiformes, raides et immobiles que la

partie droite de la figure 21 représente mêlés aux globules sanguins normaux. Leur largeur était minime, de deux à trois millièmes de millimètre; leur longueur ne dépassait guère le diamètre d'un globule du sang. MM. Rayer



En cultures artificielles. Dans le sang d'un animal carbonneux.

Fig. 21. — Bactéridie du charbon.

et Davaine en notèrent l'existence, mais ne leur accordèrent pas d'autre attention.

En Allemagne, Pollender en 1855 et Brauell en 1857 reprirent et étendirent cette observation, mais sans arriver à autre chose qu'à établir un lien mystérieux entre le charbon et le développement du bâtonnet, de la *bactéridie*. Quant à voir entre les deux phénomènes

ce que nous y voyons si naturellement aujourd'hui, une relation de cause à effet; quant à admettre qu'entre un organisme puissant et résistant comme celui du bœuf, et un être presque invisible, il pouvait s'établir une lutte où celui-ci avait raison de celui-là, il eût fallu, pour le faire, ou une audace d'esprit rare chez les savants, que l'expérience rend prudents dans leurs déductions, ou un génie d'intuition plus rare encore. La science n'était pas encore mûre pour voir naître une pareille hypothèse, encore moins pour la voir justifier.

Mais, en 1861, M. Pasteur démontre que l'agent de la transformation de l'acide du lait aigri, ou acide lactique, en acide du beurre rance, ou acide butyrique, est un bâtonnet très ténu dont la forme et les dimensions sont tout à fait comparables à celles de la bactéridie de Davaine. Malgré sa petitesse, ce bâtonnet se montre très actif, et fait fermenter en quelques jours de grandes masses de matières. Dès lors les voies sont ouvertes. M. Davaine, mû par un sentiment profond et hardi de la réalité des choses, se hâte de revenir sur son observation de 1851, et puisqu'il est désormais permis d'attribuer à ces infiniment petits des effets hors de proportion apparente avec les causes, il se demande si l'agent morbifique du charbon, l'agent de transport de la maladie d'une bête sur une autre, ne serait pas précisément la bactéridie qu'il avait observée autrefois avec M. Rayer.

De ce travail de Davaine date l'admirable mouvement scientifique auquel nous assistons aujourd'hui. Ce mouvement a été lent et pénible à ses débuts. Il avait à conquérir les esprits en accumulant des preuves solides, et ne possédait pour cela que les idées encore étroites et les pauvres méthodes d'une science à ses débuts. Mais il s'impose aujourd'hui d'une façon souveraine. Il y a quinze ans, malgré les travaux de Davaine et de ses successeurs sur le charbon, malgré même les belles études de M. Pasteur sur les maladies des vers à soie, on pouvait

se demander s'il y avait vraiment des maladies dues à l'intervention des microbes. Voilà qu'on a le droit de se demander aujourd'hui s'il y a vraiment des maladies où ils n'interviennent pas. Et c'est ainsi que leur rôle s'étend au delà de tout ce qu'on pouvait prévoir. Nous les avons vus présidant à la destruction de la matière morte, à la disparition des êtres que la vie a abandonnés; les voici maintenant prenant possession des êtres vivants; y amenant tantôt une mort rapide, tantôt seulement des désordres locaux; attendant dans d'autres cas, lorsqu'ils ne sont pas assez forts pour lutter et pour vaincre, qu'une circonstance extérieure quelconque, une perte de sang, un refroidissement, affaiblisse l'animal sur lequel ils sont implantés et leur rende leur proie plus facile à saisir.

Dans ce double rôle, quand ils travaillent pour nous comme lorsqu'ils travaillent contre nous, ils sont les mêmes, cherchent à satisfaire les mêmes besoins physiologiques, manifestent ce double caractère d'infinie petitesse dans les moyens apparents, d'énergie destructive puissante dans les résultats. Étudier les ferments et les lois de la fermentation, c'est donc en quelque sorte étudier les lois de la santé et de la maladie. C'est aussi, comme nous l'avons fait remarquer, étudier les lois de l'hygiène.

Établissons donc solidement les bases de cette science; visitons soigneusement l'édifice déjà considérable qu'elles portent; montrons-en les parties achevées que leur durée a déjà consacrées, les parties faibles, les parties inachevées, celles qu'on voit à peine sortir de terre. Je voudrais même faire quelque chose de plus, et indiquer la perspective de celles que le travail souterrain de la science est en ce moment même occupé à fonder. Avec un bon architecte, ce qu'on voit d'une construction permet de deviner ce qu'on ne voit pas. Avec une œuvre de la nature, le plan est tracé d'avance et immuable. Il ne s'agit que d'en bien étudier les portions réalisées pour le voir se

dresser tout entier devant l'esprit, sinon dans ses détails, du moins dans ses grandes lignes. (DUCLAUX, *le Microbe et la Maladie*, p. 8-19. Paris, Masson, 1 vol. in-8.)

*
* *

A une époque où les idées de transformation des espèces sont si facilement acceptées, peut-être parce qu'elles dispensent de l'expérimentation rigoureuse, il n'est pas sans intérêt de considérer que, dans le cours de mes recherches sur les cultures des plantes microscopiques à l'état de pureté, j'ai eu un jour l'occasion de croire à la transformation d'un organisme en un autre, à la transformation du *mycoderma vini* ou *cerevisiæ* en levure, et que cette fois-là j'étais dans l'erreur; je n'avais pas su éviter la cause d'illusion que ma confiance motivée dans la théorie des germes m'avait fait découvrir si souvent dans les observations des autres. (PASTEUR, *Études sur la bière*, p. 119. Paris, Gauthier-Villars, 1876.)

Sur les maladies virulentes, et en particulier sur la maladie appelée vulgairement choléra des poules.

Les maladies virulentes comptent parmi les plus grands fléaux. Pour s'en convaincre, il suffit de nommer la rougeole, la scarlatine, la variole, la morve, le charbon, la fièvre jaune, le typhus, la peste bovine.

Cette liste, déjà si chargée, est loin d'être complète. Toute la grande pathologie est là.

Aussi longtemps qu'ont régné les idées de Liebig sur la nature des ferments, les virus furent considérés comme des substances livrées à un mouvement intestin, capable de se communiquer aux matériaux de l'organisme et de transformer ces derniers en virus de même nature. Liebig n'ignorait pas que l'apparition des ferments, leur

multiplication et leur puissance de décomposition offrent avec les phénomènes de la vie des rapprochements saisissants; mais ce n'est là, disait-il dans l'Introduction de son *Traité de chimie organique*, qu'un mirage trompeur.

Toutes les expériences que j'ai communiquées depuis vingt-trois ans à cette Académie ont concouru, soit directement, soit indirectement, à démontrer l'inexactitude des opinions de Liebig. Une méthode pour ainsi dire unique m'a servi de guide dans l'étude des organismes microscopiques. Elle consiste essentiellement dans la culture de ces petits êtres à l'état de pureté, c'est-à-dire dégagés de toutes les matières hétérogènes mortes ou vivantes qui les accompagnent. Par l'emploi de cette méthode les questions les plus ardues reçoivent parfois des solutions faciles et décisives. Je rappellerai une des premières applications que j'en ai faites (1857-1858). Les ferments, disait Liebig, sont toutes ces matières azotées de l'organisme, fibrine, albumine, caséine, etc., dans l'état d'altération qu'elles éprouvent par l'effet du contact de l'air. On ne connaissait pas de fermentation où de telles matières ne fussent présentes et agissantes. La spontanéité était partout invoquée dans l'origine et la marche des fermentations comme dans celles des maladies. Afin de démontrer que l'hypothèse du savant chimiste allemand n'était, à son insu, pour me servir de son expression, qu'un mirage trompeur, je composai des milieux artificiels comprenant seulement de l'eau pure avec les substances minérales nécessaires à la vie, des matières fermentescibles et les germes des ferments de ces diverses matières. Dans ces conditions, les fermentations s'accomplirent avec une régularité et une pureté, si l'on peut dire ainsi, qu'on ne trouvait pas toujours dans les fermentations spontanées de la nature. Toute matière albuminoïde se trouvant écartée, le ferment apparaissait comme un être vivant qui empruntait à la matière fermentescible tout le carbone de ses généra-

tions successives et au milieu minéral l'azote, le phosphore, le potassium, le magnésium, éléments dont l'assimilation est une des conditions indispensables de la formation de tous les êtres, grands ou petits.

Dès lors, non seulement la théorie de Liebig n'avait plus le moindre fondement, mais les phénomènes de la fermentation se présentaient comme de simples phénomènes de nutrition, s'accomplissant dans des conditions exceptionnelles, dont la plus étrange et la plus significative, sans doute, est l'absence possible du contact de l'air.

La médecine humaine comme la médecine vétérinaire s'emparèrent de la lumière que leur apportaient ces nouveaux résultats. On s'empressa notamment de rechercher si les virus et les contages ne seraient pas des êtres animés. Le Dr Davaine (1863) s'efforça de mettre en évidence les fonctions de la bactéridie du charbon, qu'il avait aperçue dès l'année 1850; le Dr Chauveau (1868) chercha à établir que la virulence était due aux particules solides antérieurement aperçues dans tous les virus; le Dr Klebs (1872) attribua les virus traumatiques à des organismes microscopiques; le Dr Koch (1876), par la méthode des cultures, obtint les corpuscules germes de la bactéridie, semblables de tout point à ceux que j'avais signalés dans les vibrions (1865-1870), et l'étiologie de plusieurs autres maladies fut rapportée à l'existence de ferments microscopiques. Aujourd'hui, les esprits les plus rebelles à la doctrine de la théorie des germes sont ébranlés. Mais quelle obscurité pourtant voile sur plusieurs points la vérité!

Dans la grande majorité des maladies virulentes, le virus n'a pu être isolé, encore moins démontré vivant, par la méthode des cultures et tout se réunit pour faire de ces inconnues de la pathologie des causes morbides mystérieuses. L'histoire des maladies qu'elles provoquent présente également des circonstances extraordinaires, au

nombre desquelles il faut mettre en première ligne l'absence de récidive. Quelle étrange circonstance! C'est à peine si l'imagination trouve à hasarder de ce fait une explication hypothétique ayant une base expérimentale quelconque. N'est-il pas plus surprenant encore d'observer que la vaccine, maladie virulente elle-même, mais bénigne, préserve et de la vaccine et d'une maladie plus grave, la petite vérole? Et ces faits sont connus dès la plus haute antiquité. La variolisation et la vaccination sont des pratiques connues dans l'Inde de temps immémorial, et, lorsque Jenner démontra l'efficacité de la vaccine, le peuple des campagnes où il exerçait la médecine savait que la picote des vaches, ou *cow-pox*, préservait de la variole. Le fait de la vaccine est unique, mais le fait de la non-récidive des maladies virulentes paraît général. L'organisme n'éprouve pas deux fois les effets de la rougeole, de la scarlatine, du typhus, de la peste, de la variole, etc.; du moins l'immunité persiste pendant un temps plus ou moins long.

Quoique l'humilité la plus grande soit une obligation en face de ces mystères, j'ose penser que l'Académie verra dans les faits que je vais avoir l'honneur de lui communiquer des éclaircissements inattendus sur les problèmes que soulève l'étude des maladies virulentes.

Parfois se déclare dans les basses-cours une maladie désastreuse qu'on désigne vulgairement sous le nom de *choléra des poules*. L'animal en proie à cette affection est sans force, chancelant, les ailes tombantes. Les plumes du corps, soulevées, lui donnent la forme en boule. Une somnolence invincible l'accable. Si on l'oblige à ouvrir les yeux, il paraît sortir d'un profond sommeil et bientôt les paupières se referment, et le plus souvent la mort arrive sans que l'animal ait changé de place, après une muette agonie. C'est à peine si quelquefois il agite les ailes pendant quelques secondes. Les désordres intérieurs sont considérables. La maladie est produite par un orga-

nisme microscopique, lequel aurait été soupçonné en premier lieu par M. Moritz, vétérinaire dans la haute Alsace, puis mieux figuré en 1878 par M. Peroncito, vétérinaire de Turin, et enfin retrouvé en 1879 par M. Toussaint, professeur à l'École vétérinaire de Toulouse.

Dans l'étude des maladies parasitaires microscopiques, la première et la plus utile condition à remplir est de se procurer un liquide où l'organisme infectieux puisse se cultiver facilement et toujours sans mélange possible avec d'autres organismes d'espèces différentes. Un milieu de culture merveilleusement approprié à la vie du microbe du choléra des poules est le bouillon de muscles de poule, neutralisé par la potasse et rendu stérile par une température supérieure à 100° (110° à 115°). La facilité de multiplication de l'organisme microscopique dans ce milieu de culture tient du prodige. En quelques heures le bouillon le plus limpide commence à se troubler et se trouve rempli d'une multitude infinie de petits articles d'une ténuité extrême, légèrement étranglés à leur milieu, et qu'à première vue on prendrait pour des points isolés. Ces petits articles n'ont pas de mouvement propre; ils font certainement partie d'un tout autre groupe que celui des vibrions. J'imagine qu'ils viendront se placer un jour auprès des virus, aujourd'hui de nature inconnue, lorsqu'on aura réussi à cultiver ces derniers, comme j'espère qu'on est à la veille de le faire.

La culture de notre microbe présente des particularités fort intéressantes.

Dans mes études antérieures, un des milieux de culture que j'ai utilisés avec le plus de succès est l'eau de levure, c'est-à-dire une décoction de levure de bière dans de l'eau, amenée par la filtration à un état de parfaite limpidité, puis rendue stérile par une température supérieure à 100°. Les organismes microscopiques les plus divers s'accommodent de la nourriture que leur offre ce liquide, surtout s'il a été neutralisé. Par exemple, vient-

on à y semer la bactéridie charbonneuse, elle y prend en quelques heures un développement surprenant. Chose étrange, ce milieu de culture est tout à fait impropre à la vie du microbe du choléra des poules; il y périt même promptement, en moins de quarante-huit heures. N'est-ce pas l'image de ce qu'on observe quand un organisme microscopique se montre inoffensif pour une espèce animale à laquelle on l'inocule? Il est inoffensif parce qu'il ne se développe pas dans le corps de l'animal, ou que son développement n'atteint pas les organes essentiels à la vie.

La stérilité de l'eau de levure ensemencée par le microbe qui nous occupe offre un moyen précieux de reconnaître la pureté des cultures de cet organisme dans le bouillon de poule. Une culture pure ensemencée dans l'eau de levure ne donne aucun développement : l'eau de levure reste limpide. Elle se trouble et se cultive, dans le cas contraire, par les organismes d'impureté.

Je passe à une particularité plus singulière encore de la culture du microbe auteur du choléra des poules. L'inoculation de cet organisme à des cochons d'Inde, est loin d'amener la mort aussi sûrement qu'avec les poules. Chez les cochons d'Inde, d'un certain âge surtout, on n'observe qu'une lésion locale au point d'inoculation, qui se termine par un abcès plus ou moins volumineux. Après s'être ouvert spontanément, l'abcès se referme et guérit sans que l'animal ait cessé de manger et d'avoir toutes les apparences de la santé. Ces abcès se prolongent souvent pendant plusieurs semaines avant d'abcéder, entourés d'une membrane pyogénique et remplis de pus crémeux où le microbe fourmille à côté des globules de pus. C'est la vie du microbe inoculé qui fait l'abcès, lequel devient pour le petit organisme comme un vase fermé où il est facile d'aller le puiser, même sans sacrifier l'animal. Il s'y conserve, mêlé au pus, dans un grand état de pureté et sans perdre sa vitalité. La

preuve en est que, si l'on inocule à des poules un peu du contenu de l'abcès, ces poules meurent rapidement, tandis que le cochon d'Inde qui a fourni le virus se guérit sans la moindre souffrance. On assiste donc ici à une évolution localisée d'un organisme microscopique qui provoque la formation de pus et d'un abcès fermé, sans amener de désordres intérieurs ni la mort de l'animal sur lequel on le rencontre, et toujours prêt néanmoins à porter la mort chez d'autres espèces auxquelles on l'inocule, toujours prêt même à faire périr l'animal sur lequel il existe à l'état d'abcès si telles circonstances plus ou moins fortuites venaient à le faire passer dans le sang ou dans les organes splanchniques. Des poules ou des lapins qui vivraient en compagnie de cobayes portant de tels abcès pourraient tout à coup devenir malades et périr sans que la santé des cochons d'Inde parût le moins du monde altérée. Pour cela il suffirait que les abcès des cochons d'Inde, venant à s'ouvrir, répandissent un peu de leur contenu sur les aliments des poules et des lapins. Un observateur, témoin de ces faits et ignorant la filiation dont je parle, serait dans l'étonnement de voir décimés poules et lapins, sans causes apparentes, et croirait à la spontanéité du mal, car il serait loin de supposer qu'il a pris son origine dans les cochons d'Inde, tous en bonne santé, surtout s'il savait que les cochons d'Inde sont sujets, eux aussi, à la même affection. Combien de mystères dans l'histoire des contagions recevront un jour des solutions plus simples encore que celle dont je viens de parler ! Repoussons les théories que nous pouvons contredire par des faits probants, mais non par le vain prétexte que certaines de leurs applications nous échappent. Les combinaisons de la nature sont à la fois plus simples et plus variées que celles de notre imagination.

On sera mieux convaincu de ce que j'avance si j'ajoute que quelques gouttes d'une culture de notre microbe, déposées sur du pain ou de la viande qu'on donne à

manger à des poules, suffisent pour faire pénétrer le mal par le canal intestinal, où le petit organisme microscopique se cultive en si grande abondance, que les excréments des poules ainsi infectées font périr les individus auxquels on les inocule. Ces faits permettent de se rendre compte aisément de la manière dont se propage dans les basses-cours la très grave maladie qui nous occupe. Évidemment les excréments des animaux malades ont la plus grande part à la contagion. Aussi rien ne serait plus facile que d'arrêter celle-ci en isolant, pour quelques jours seulement, les animaux, lavant la basse-cour à très grande eau, surtout à l'eau acidulée avec un peu d'acide sulfurique, qui détruit facilement le microbe, éloignant le fumier, puis réunissant les animaux. Toutes causes de contagion auraient disparu, parce que, pendant l'isolement, les animaux déjà atteints seraient morts, tant la maladie est rapide dans son action.

La culture répétée du microbe infectieux dans du bouillon de poule en passant toujours d'une culture à la suivante par l'ensemencement d'une quantité pour ainsi dire infiniment petite, par exemple par ce que peut emporter la pointe d'une aiguille simplement plongée dans la culture, n'affaiblit pas la virulence de l'organisme microscopique, non plus, ce qui revient d'ailleurs à la même chose, que la facilité de sa multiplication à l'intérieur du corps des Gallinacés. Cette virulence est si grande, que, par l'inoculation d'une minime fraction de goutte d'une culture, vingt fois sur vingt la mort arrive en deux ou trois jours, et le plus souvent en moins de vingt-quatre heures.

Ces préliminaires étant connus, j'arrive aux faits les plus saillants de cette communication.

Par certain changement dans le mode de culture on peut faire que le microbe infectieux soit diminué dans sa virulence. C'est là le point vif de mon sujet. Je demande néanmoins à l'Académie la liberté de ne pas aller, pour le moment, plus avant dans ma confidence sur les

procédés qui me permettent de déterminer l'atténuation dont je parle, autant pour conserver quelque temps encore l'indépendance de mes études que pour mieux en assurer la marche.

La diminution dans la virulence se traduit dans les cultures par un faible retard dans le développement du microbe; mais au fond il y a identité de nature entre les deux variétés du virus. Sous le premier de ses états, l'état très infectieux, le microbe inoculé peut tuer vingt fois sur vingt. Sous le second de ses états, il provoque vingt fois sur vingt la maladie et non la mort. Ces faits ont une importance facile à comprendre : ils nous permettent en effet de juger, en ce qui concerne la maladie qui nous occupe, le problème de sa récidive ou de sa non-récidive. Prenons quarante poules, inoculons-en vingt avec un virus très virulent : les vingt poules mourront. Inoculons les vingt autres avec le virus atténué, toutes seront malades, mais elles ne mourront pas. Laissons-les guérir et revenons ensuite, pour ces vingt poules, à l'inoculation du virus très infectieux : cette fois il ne tuera pas. La conclusion est évidente : la maladie se préserve elle-même. Elle a le caractère des maladies virulentes, maladies qui ne récidivent pas.

Ne nous laissons pas éblouir par la singularité de ces résultats. Tout n'y est pas aussi nouveau qu'on pourrait le croire au premier abord. Ils ont cependant, sur un point capital, une nouveauté bien réelle qu'il s'agit de dégager. Avant Jenner, et lui-même a longtemps pratiqué cette méthode, comme je le rappelais tout à l'heure, on variolisait, c'est-à-dire qu'on inoculait la variole pour préserver de la variole. Aujourd'hui, dans divers pays, on clavelise les moutons pour les préserver de la clavelée; on inocule la péripneumonie pour préserver de cette très grave affection de l'espèce bovine. Le choléra des poules vient de nous offrir l'exemple d'une immunité du même genre. C'est un fait digne d'intérêt, mais qui n'offre pas

une nouveauté de principe. La nouveauté vraiment réelle des observations qui précèdent, nouveauté qui donne beaucoup à réfléchir sur la nature des virus, c'est qu'il s'agit ici d'une maladie dont l'agent virulent est un parasite microscopique, un être vivant, cultivable en dehors de l'économie. Le virus varioleux, le virus vaccin, le virus de la morve, le virus de la peste, etc., sont inconnus dans leur nature propre. Le virus nouveau est un être animé et la maladie qu'il provoque offre avec les maladies virulentes proprement dites ce point de contact inconnu jusqu'ici dans les maladies virulentes à parasites microscopiques : le caractère de la non-récidive.

Je ne voudrais pas laisser croire que les faits présentent la netteté et la régularité mathématiques que j'ai invoquées. Ce serait ne pas se rendre compte de tout ce qu'il y a de variabilité dans les constitutions d'animaux pris au hasard dans un groupe d'animaux domestiques et dans les manifestations de la vie en général. Non, le virus très virulent du choléra des poules ne tue pas toujours vingt fois sur vingt; mais, dans les faits qui ont passé sous mes yeux, il a tué au minimum dix-huit fois sur vingt dans les cas où il n'a pas tué vingt fois. Non, le virus atténué dans sa virulence ne conserve pas toujours la vie vingt fois sur vingt. Dans les cas de moindre conservation, ç'a été dix-huit et seize fois sur vingt. Il n'empêche pas davantage *d'une manière absolue* et par une seule inoculation la récidive de la maladie. On arrive plus sûrement à cette non-récidive par deux inoculations que par une seule.

Si nous rapprochons des résultats qui précèdent le grand fait de la vaccine dans ses rapports avec la variole, nous reconnaîtrons que le microbe affaibli qui n'amène pas la mort se comporte comme un vaccin relativement à celui qui tue, puisqu'il provoque, en définitive, une maladie qu'on peut appeler bénigne du moment qu'elle n'amène pas la mort et qu'elle préserve de la maladie

sous sa forme mortelle. Que faudrait-il pour que ce microbe, de virulence atténuée, fût un véritable vaccin, comparable au vaccin du cow-pox? Il faudrait, si je puis ainsi parler, qu'il fût fixé dans sa variété propre et qu'on ne fût point contraint de recourir toujours à sa préparation d'origine quand on veut en user. En d'autres termes, on retrouve ici cette crainte qui pour un temps préoccupa Jenner. Lorsqu'il eut démontré que le cow-pox inoculé préservait de la variole, il crut que pour empêcher cette maladie on devrait toujours s'adresser au cow-pox de la vache. C'est, à tout prendre, le point où nous en sommes touchant l'affection du choléra des poules, avec cette différence néanmoins, différence considérable, que nous savons que notre vaccin, à nous, est un être vivant. Jenner reconnut bientôt qu'il pouvait se passer du cow-pox de la vache et faire passer le vaccin de bras à bras. Nous pouvons faire une tentative analogue en faisant passer notre microbe, être vivant, de culture en culture. Reprendra-t-il une virulence très active ou conservera-t-il sa virulence discrète? Pour étonnantes qu'elles doivent paraître, les choses arrivent conformément à cette seconde supposition. La virulence, du moins dans le petit nombre de cultures successives que j'ai tentées, ne s'est pas exaltée, et en conséquence on peut croire que nous avons affaire à un véritable vaccin. Bien plus, un ou deux essais sont favorables à l'idée que le virus atténué se conserve tel en passant dans le corps des cochons d'Inde. En sera-t-il de même à la suite de plusieurs cultures et de plusieurs inoculations? Des expériences ultérieures pourront seules répondre à ces questions.

Quoi qu'il en soit, nous possédons aujourd'hui une maladie à parasite microscopique qu'on peut faire apparaître dans des conditions telles qu'elle ne récidive pas, malgré son caractère parasitaire. En outre, nous connaissons une variété de son virus qui se comporte

vis-à-vis d'elle à la manière du vaccin vis-à-vis de la variole.

Il me paraîtrait superflu de signaler les principales conséquences des faits que je viens d'avoir l'honneur d'exposer devant l'Académie. Il en est deux cependant qu'il n'est peut-être pas sans utilité de mentionner : c'est, d'une part, l'espoir d'obtenir des cultures artificielles de tous les virus, de l'autre, une idée de recherche des virus vaccins des maladies virulentes qui ont désolé à tant de reprises et désolent encore tous les jours l'humanité, et qui sont une des grandes plaies de l'Agriculture dans l'élevage des animaux domestiques. (PASTEUR, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XC, p. 239, 9 février 1880.)

L'explication à laquelle les faits nous conduisent, tant de la résistance constitutionnelle de certains animaux que de l'immunité que créent chez les poules des inoculations préventives, n'a rien non plus que de naturel quand on considère que toute culture, en général, modifie le milieu où elle s'effectue : modification du sol, s'il s'agit des plantes ordinaires; modification des plantes ou des animaux, s'il s'agit de leurs parasites; modification de nos liquides de cultures, s'il s'agit des mucédinées, des vibrioniens ou des ferments. Ces modifications se manifestent ou se caractérisent par cette circonstance que des cultures nouvelles des mêmes espèces dans ces milieux deviennent promptement difficiles ou impossibles. Que l'on conserve du bouillon de poule avec le microbe du *choléra* et qu'après trois ou quatre jours on filtre le liquide pour éloigner toute trace du microbe, qu'en dernier lieu on ensemence de nouveau le liquide filtré par ce parasite : celui-ci se montrera tout à fait impuissant à reprendre le plus faible développement. D'une parfaite limpidité après sa filtration, le liquide garde indéfiniment cette limpidité.

Comment ne pas être porté à croire que, par la culture

dans la poule, du virus atténué, on place le corps de celle-ci dans l'état de ce liquide filtré qui ne peut plus cultiver le microbe? La comparaison peut se poursuivre plus loin encore; car, si l'on filtre du bouillon en pleine culture du microbe, non pas le quatrième jour de la culture, mais le second, le liquide filtré sera encore apte à cultiver de nouveau le microbe, quoique avec moins d'énergie qu'au début. On comprend ainsi qu'après une culture du microbe atténué dans le corps de la poule, on puisse ne pas avoir enlevé dans toutes les parties de son corps les aliments du microbe. Ce qui en reste permettra donc une nouvelle culture, mais également dans une mesure plus discrète. C'est l'effet d'une première *vaccine*. Des inoculations subséquentes enlèveront progressivement tous les matériaux de culture du parasite. En conséquence, par l'action du mouvement circulatoire, un moment viendra forcément où toute culture nouvelle sur l'animal restera stérile. C'est alors que la maladie ne pourra récidiver et que le sujet sera tout à fait vacciné. On pourrait s'étonner qu'une première culture du virus atténué s'arrête avant que les matières nutritives du microbe soient épuisées. Mais il ne faut pas oublier que le microbe, être aérobie, n'est pas du tout, dans le corps de l'animal, dans les mêmes conditions que dans un milieu artificiel de culture. Ici, pas d'obstacles à sa multiplication. Dans le corps, au contraire, il est sans cesse en lutte avec les cellules des organes, cellules qui, elles aussi, sont des êtres aérobies toujours prêts à s'emparer de l'oxygène.

Est-ce bien là néanmoins la seule explication possible des phénomènes? Non, à la rigueur. On peut se rendre compte des faits de non-récidive en admettant que la vie du microbe, au lieu d'enlever ou de détruire certaines matières dans le corps des animaux, en ajoute, au contraire, qui seraient pour ce microbe un obstacle à un développement ultérieur. L'histoire de la vie des êtres

inférieurs, de tous les êtres en général, autorise une telle supposition. Les excrétions nées du fonctionnement vital peuvent s'opposer à un fonctionnement vital de même nature. Dans certaines fermentations, on voit des produits antiseptiques prendre naissance pendant et par la fermentation même, et mettre fin à la vie active des ferments et aux fermentations longtemps avant l'achèvement de celles-ci. Dans les cultures de notre microbe, il pourrait y avoir formation de produits dont la présence expliquerait à la rigueur la non-récidive et la vaccination. (PASTEUR, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XC, p. 956, 26 avril 1880.)

L'étiologie du charbon.

Une des maladies les plus meurtrières du bétail est l'affection que l'on désigne vulgairement sous le nom de *charbon*. La plupart de nos départements ont à en souffrir, les uns peu, les autres beaucoup. Il en est où les pertes se comptent anuellement par millions : tel est le département d'Eure-et-Loir. Des nombreux troupeaux de moutons qu'on y élève, il n'en est pas un seul peut-être qui ne soit frappé chaque année. Tout fermier s'estime heureux et ne donne même aucune attention à la maladie quand la mort n'atteint pas plus de 2 à 3 pour 100 du nombre total des sujets qui composent son troupeau. Tous les pays connaissent ce fléau; il est parfois si désastreux en Russie qu'on l'y nomme la *peste de Sibérie*.

D'où vient ce mal? Comment se propage-t-il? La connaissance exacte de son étiologie ne pourrait-elle conduire à des mesures prophylactiques faciles à appliquer et propres à éteindre rapidement la redoutable maladie? Telles sont les questions que je me suis proposé de résoudre et pour lesquelles je me suis adjoint deux

jeunes observateurs pleins de zèle, qu'enflamment comme moi les grandes questions que soulève l'étude des maladies contagieuses, MM. Chamberland et Roux.

Longtemps on a cru que le charbon naissait spontanément sous l'influence de causes occasionnelles diverses : nature des terrains, des eaux, des fourrages, mode d'élevage et d'engraissement, on a tout invoqué pour expliquer son existence spontanée; mais, depuis que les travaux de M. Davaine et de Delafond, en France, de Pollender et de Brauell, en Allemagne, ont appelé l'attention sur la présence d'un parasite microscopique dans le sang des animaux morts de cette affection, depuis que des recherches rigoureuses ont combattu la doctrine de la génération spontanée des êtres microscopiques et qu'enfin les effets des fermentations ont été rattachés à la microbie, on s'habitua peu à peu à l'idée que les animaux atteints du charbon pourraient prendre les germes du mal, c'est-à-dire les germes du parasite dans le monde extérieur, sans qu'il y eût jamais naissance spontanée proprement dite de cette affection. Cette opinion se précisa encore davantage lorsque, en 1876, le docteur Koch, de Breslau, eut démontré que la bactéridie, sous sa forme vibrionienne ou bacillaire, pouvait se résoudre en véritables corpuscules germes ou spores. (Pasteur, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCI, p. 86, 12 juillet 1880.)

La levure de bière est un exemple frappant de ces productions cellulaires pouvant se multiplier indéfiniment, sans apparition de leurs spores d'origine. Il existe beaucoup de mucédinées à mycélium tubuleux, qui, dans certaines conditions de culture, donnent des chaînes de cellules plus ou moins sphériques, appelées *conidies*. Celles-ci, détachées de leurs branches, peuvent se produire sous la forme de cellules, sans jamais faire apparaître à moins d'un changement dans les conditions des cultures, les spores de leurs mucédinées respectives. On

pourrait comparer ces organisations végétales aux plantes qu'on multiplie par boutures et dont on ne fait point servir les fruits et les graines à la reproduction de la plante mère.

La bactérie charbonneuse dans ses cultures artificielles, se comporte bien différemment. Ses filaments mycéliens, si l'on peut ainsi dire, se sont à peine multipliés pendant vingt-quatre ou quarante-huit heures, qu'on les voit se transformer, principalement ceux qui ont le libre contact de l'air, en corpuscules ovoïdes très réfringents pouvant s'isoler peu à peu et constituer les véritables germes du petit organisme. Or, l'observation démontre que ces germes si vite formés dans les cultures, n'éprouvent avec le temps de la part de l'air atmosphérique aucune altération, soit dans leur vitalité, soit dans leur virulence. Je pourrais présenter à l'Académie un tube contenant des spores d'une bactéridie charbonneuse formée il y a quatre ans, le 21 mars 1877 : chaque année, on essaie la germination des petits corpuscules et chaque année cette germination se fait avec la même facilité et la même rapidité qu'à l'origine; chaque année également on éprouve la virulence des nouvelles cultures et elles ne manifestent aucun affaiblissement apparent. (Pasteur, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCII, p. 430, 28 février 1881.)

Ce sont ces germes qui propagent la maladie :

Un animal charbonneux est enfoui; le parasite, cause de la maladie et dont le sang est rempli, se cultive dans la terre qui entoure le cadavre; il s'y réduit à l'état de germes. Ceux-ci seraient inoffensifs s'ils restaient à l'intérieur de la terre, mais les vers de terre les ramènent des profondeurs à la surface. Alors les pluies et les travaux de la culture les répandent sur les plantes ou les eaux les entraînent dans les ruisseaux quand

les circonstances s'y prêtent. Ensuite ces germes du mal pénètrent dans le corps des animaux et y développent le parasite infectieux. (PASTEUR, *loc. cit.*, 6 septembre 1880.)

Quand on envisage les horribles maux qui peuvent résulter de la contagion dans les maladies transmissibles, il est consolant de penser que l'existence de ces maladies n'a rien de nécessaire. Détruites dans leurs principes, elles seraient détruites à jamais, du moins toutes celles dont le nombre s'accroît chaque jour, qui ont pour cause des parasites microscopiques. Comme tous les êtres, ces espèces parasitaires sont à la merci des coups qui peuvent les frapper. Bien différent est le groupe des affections qui accompagnent les manifestations de la vie, considérée en elle-même. L'humanité ne saurait être à l'abri d'une fluxion de poitrine, ni de mille accidents divers d'où peut naître la maladie avec toutes ses conséquences.

En ce qui concerne l'affection charbonneuse, je crois fermement à la facile extinction de ce fléau. Le monde entier pourrait l'ignorer, comme l'Europe ignore la lèpre, comme elle a ignoré la variole pendant des milliers d'années. (PASTEUR, *loc. cit.*, 2 novembre 1880.)

La rage.

On sait enfin que M. Pasteur est arrivé à empêcher, chez les personnes mordues par des animaux enragés, le développement du redoutable virus. La place nous manque pour exposer cette découverte comme nous le voudrions; bornons-nous à citer quelques dates et quelques chiffres.

Depuis plusieurs années, M. Pasteur étudiait la rage chez les animaux. Or le 6 juillet 1885, arrivait d'Alsace (du val de Villé) au laboratoire de la rue d'Ulm, un enfant de neuf ans, Joseph Meister, qui ne portait pas moins de quatorze morsures graves faites par un chien enragé. La mort de cet enfant, d'après l'avis

des docteurs Vulpian et Grancher, paraissait inévitable. M. Pasteur se décida alors à tenter sur lui la méthode qui avait si souvent réussi sur les chiens. Ce traitement dura du 6 au 16 juillet. L'auteur du livre que nous avons cité a raconté les angoisses de M. Pasteur au moment d'entreprendre ce traitement et pendant sa durée. L'enfant fut sauvé.

Le 26 octobre 1885, plus de trois mois après la fin des inoculations, M. Pasteur apporta à l'Académie les résultats de cette expérience. Il s'exprima ainsi :

Après des expériences, pour ainsi dire, sans nombre, je suis arrivé à une méthode prophylactique, pratique et prompte, dont les succès sur le chien sont déjà assez nombreux et sûrs pour que j'aie confiance dans la généralité de son application à tous les animaux et à l'homme lui-même.

Cette méthode repose essentiellement sur les faits suivants :

L'inoculation au lapin, par la trépanation sous la dure-mère, d'une moelle rabique de chien à rage des rues, donne toujours la rage à ces animaux après une durée moyenne d'incubation de quinze jours environ.

Passe-t-on du virus de ce premier lapin à un second, de celui-ci à un troisième et ainsi de suite par le mode d'inoculation précédent, il se manifeste bientôt une tendance de plus en plus accusée dans la diminution de la durée d'incubation de la rage chez les lapins successivement inoculés.

Après vingt à vingt-cinq passages de lapin à lapin, on rencontre des durées d'incubation de huit jours, qui se maintiennent pendant une période nouvelle de vingt à vingt-cinq passages. Puis on atteint une durée d'incubation de sept jours, que l'on retrouve avec une régularité frappante pendant une série nouvelle de passages allant jusqu'au quatre-vingt-dixième. C'est du moins à ce chiffre que je suis en ce moment ; et c'est à peine s'il se manifeste

actuellement une tendance à une durée d'incubation d'un peu moins de sept jours [1].

Ce genre d'expériences, commencé en novembre 1882, a déjà trois années de durée, sans que la série ait été jamais interrompue, sans que jamais, non plus, on ait dû recourir à un virus autre que celui des lapins successivement morts rabiques. Rien de plus facile, en conséquence, d'avoir constamment à sa disposition, pendant des intervalles de temps considérables, un virus rabique d'une pureté parfaite, toujours identique à lui-même ou à très peu près. C'est le nœud pratique de la méthode.

Les moelles de ces lapins sont rabiques dans toutes leur étendue avec constance dans la virulence.

Si l'on détache de ces moelles des longueurs de quelques centimètres avec des précautions de pureté aussi grandes qu'il est possible de les réaliser, et qu'on les suspende dans un air sec, la virulence disparaît lentement dans ces moelles jusqu'à s'éteindre tout à fait. La durée d'extinction de la virulence varie quelque peu avec l'épaisseur des bouts de la moelle, mais surtout avec la température extérieure. Plus la température est basse, et plus durable est la conservation de la virulence. Ces résultats constituent le point scientifique de la méthode.

Ces faits étant établis, voici le moyen de rendre un chien réfractaire à la rage, en un temps relativement court.

Dans une série de flacons, dont l'air est entretenu, à l'état sec, par des fragments de potasse déposés sur le fond du vase, on suspend, chaque jour, un bout de moelle rabique fraîche de lapin mort de rage, rage développée après sept jours d'incubation. Chaque jour également, on inocule sous la peau du chien une pleine seringue Pravaz de bouillon stérilisé, dans lequel on a délayé un petit fragment d'une de ces moelles en dessiccation, en com-

1. Aujourd'hui (15 juin 1891), après 289 passages, la durée de l'incubation est fixée à six jours. — J. G.

mençant par une moelle d'un numéro d'ordre assez éloigné du jour où l'on opère, pour être bien sûr que cette moelle n'est pas du tout virulente. Des expériences préalables ont éclairé à cet égard. Les jours suivants, on opère de même avec des moelles plus récentes, séparées par un intervalle de deux jours, jusqu'à ce qu'on arrive à une dernière moelle très virulente, placée depuis un jour ou deux seulement en flacon.

Le chien est alors rendu réfractaire à la rage. On peut lui inoculer du virus rabique sous la peau ou même à la surface du cerveau par trépanation, sans que la rage se déclare.

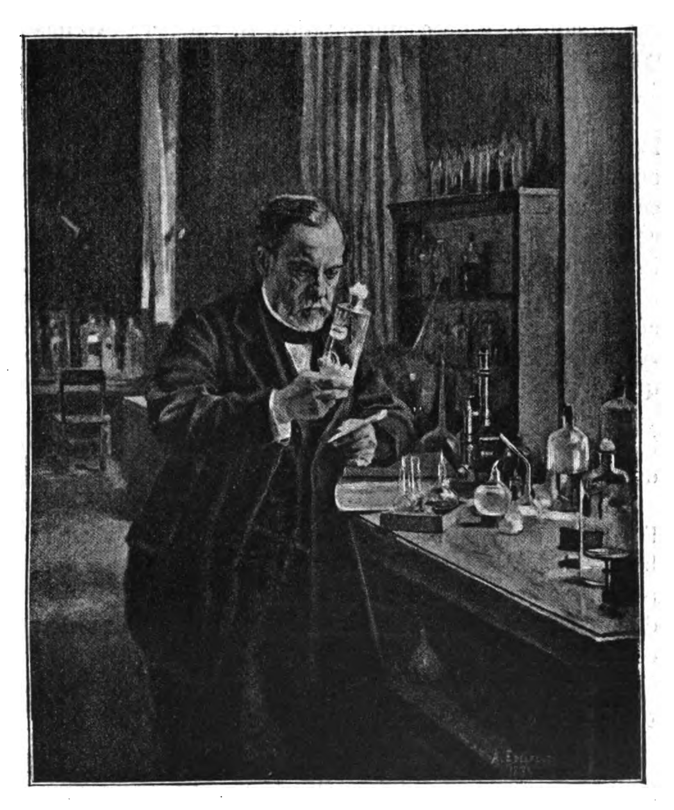
Par l'application de cette méthode, j'étais arrivé à avoir cinquante chiens de tout âge et de toute race, réfractaires à la rage, sans avoir rencontré un seul insuccès, lorsque, inopinément, se présentèrent dans mon laboratoire, le lundi 6 juillet dernier, trois personnes arrivant d'Alsace.

M. Pasteur expose alors en détail le traitement auquel fut soumis le jeune Meister. Il ajoute :

Dans les derniers jours, j'avais donc inoculé à Joseph Meister le virus rabique le plus virulent, celui du chien renforcé par une foule de passages de lapins à lapins, virus qui donne la rage à ces animaux après sept jours d'incubation, après huit ou dix jours aux chiens. J'étais autorisé dans cette entreprise par ce qui s'était passé pour les cinquante chiens dont j'ai parlé.

Lorsque l'état d'immunité est atteint, on peut sans inconvénient inoculer le virus le plus virulent et en quantité quelconque.

Joseph Meister a donc échappé, non seulement à la rage que ses morsures auraient pu développer, mais à celle que je lui ai inoculée pour contrôle de l'immunité due au traitement, rage plus virulente que celle du chien



M. Pasteur dans son laboratoire (d'après le tableau d'Edelfelt).

des rues. (PASTEUR, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CI, p. 765, 26 octobre 1885.)

A la suite de cette communication, M. Vulpian s'exprima en ces termes :

La rage, cette maladie terrible, contre laquelle toutes les tentatives thérapeutiques avaient échoué jusqu'ici, a enfin trouvé son remède! M. Pasteur, qui n'a eu, dans cette voie, aucun autre précurseur que lui-même, a été conduit par une série de recherches poursuivies sans interruption pendant des années à créer une méthode de traitement à l'aide de laquelle on peut empêcher, à coup sûr, le développement de la rage chez l'homme mordu récemment par un chien enragé. Je dis *à coup sûr* parce que, d'après ce que j'ai vu dans le laboratoire de M. Pasteur, je ne doute pas du succès constant de ce traitement, lorsqu'il sera mis en pratique dans toute sa teneur, peu de jours après la morsure rabique.

Il devient dès à présent nécessaire de se préoccuper de l'organisation d'un service de traitement de la rage par la méthode Pasteur. Il faut que toute personne mordue par un chien enragé puisse bénéficier de cette grande découverte, qui met le sceau à la gloire de notre illustre confrère et qui jettera le plus vif éclat sur notre pays. (VULPIAN, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CI, p. 772, 26 octobre 1885.)

Cette communication fut le point de départ d'une série de contradictions, dont l'histoire, parfois assez triste, ne saurait trouver place ici. La vérité l'emporta heureusement. Les malades arrivèrent en foule à la rue d'Ulm. Ceux qui en ont été les témoins n'oublieront jamais le spectacle que, pendant plusieurs mois, présenta ce laboratoire, célèbre entre tous. Russes et Arabes, Anglais et Espagnols, paysans et ouvriers de tous les points de la France, s'y pressaient, entourant d'un égal respect celui auquel ils devaient d'échapper à une mort affreuse.

Un comité se forma pour réunir les fonds nécessaires à la construction d'un Institut spécial, justement appelé l'*Institut Pasteur*, destiné au traitement de la rage et à l'étude des questions se rattachant à la microbie.

La souscription s'éleva bientôt au chiffre de 2 586 680 francs. Les constructions marchèrent rapidement et le 14 novembre 1888 eut lieu l'inauguration solennelle du nouvel Institut.

Des Instituts semblables ne tardèrent pas à se fonder dans le monde entier. Au 31 décembre 1890, il y en avait vingt : sept en Russie, à Odessa, Saint-Pétersbourg, Moscou, Varsovie, Charkow, Samara et Tiflis; cinq en Italie, à Naples, Milan, Turin, Palerme, Bologne; un à Vienne; un à Constantinople; un à Barcelone; un à Bucarest; quatre en Amérique, à Rio de Janeiro, à la Havane, à Buenos Ayres, à Chicago.

A l'Institut Pasteur seulement, 9 433 personnes ont été traitées de l'origine au 31 décembre 1890; 58 sont mortes, soit 0,61 pour 100. Or la mortalité habituelle d'après les statistiques officielles est de 16 pour 100. C'est donc plus de 1 500 personnes parmi ces 9433 qui auraient certainement succombé et dont 1 450 au moins doivent la vie à M. Pasteur [1]. Les résultats obtenus dans les autres Instituts sont analogues; partout où le traitement a été appliqué avec soin, la mortalité est tombée au-dessous de 1 pour 100, au lieu de 16 pour 100, chiffre estimé trop faible par plusieurs.

A l'Institut Pasteur, la mortalité, à mesure que le traitement se perfectionne, a subi une décroissance continue. Elle était de 0,94 pour 100 en 1886; de 0,73 pour 100 en 1887; de 0,55 pour 100 en 1888; de 0,33 pour 100 en 1889; elle n'est plus que de 0,32 pour 100 en 1890, soit 1 mort sur 312 mordus, au lieu de 50.

Ces chiffres se passent de commentaires et justifient amplement les graves paroles prononcées par M. Vulpian et citées plus haut.

1. A ce nombre il convient d'ajouter les nombreux mordus traités dans les Instituts étrangers.

LIVRE IV

LA SCIENCE ET LA MÉTHODE

CHAPITRE I

LA SCIENCE AU XIXe SIÈCLE

Progrès des sciences dans la première moitié du XIXe siècle.

Tant de mutations, rapidement opérées chez une nation aussi mobile que la nôtre, en ont nécessairement amené de considérables dans ses idées, ses goûts, ses exigences, et par suite dans les productions littéraires, même scientifiques, qu'on lui présentait. D'autant que, dans les intervalles de repos qui ont séparé ces transformations sociales, les esprits ont été occupés, remués, par une succession continue de découvertes nouvelles, qui ont étendu le cercle des connaissances humaines presque au delà des bornes qu'on leur supposait possible d'atteindre. Ainsi, les sciences d'érudition nous ont révélé les secrets de l'antique Égypte; elles nous ont rendu familières, les langues, les religions, les doctrines du vieil Orient; et, par leur critique éclairée, non moins que sévère, elles ont totalement modifié, ou détruit, une multitude d'opinions erronées, que le siècle précédent avait trop inconsidérément admises comme certaines. En même temps, les voyages d'exploration s'étendant sur toutes les mers,

et jusque dans l'intérieur des continents les plus sauvages, nous ont fait connaître, au vrai, les variétés d'état et de mœurs de la race humaine, sous toutes les formes d'association qui peuvent s'y réaliser : ce qui a redressé encore les idées fausses qu'en avaient donné des déclamations éloquentes. Mais rien n'a frappé les imaginations, autant que les prodiges qu'ont enfantés, de nos jours, les sciences positives, qui s'appuient sur l'observation, l'expérience et le calcul mathématique. Par l'observation, elles ont découvert dans notre système solaire un grand nombre de planètes inconnues aux âges précédents, circulant, comme les anciennes, autour du soleil suivant les lois de la gravitation newtonienne; et, au delà de ce système, des soleils circulant autour d'autres soleils, suivant des lois que le temps fera connaître, identiques à celles-là ou différentes. Par l'expérience patiemment suivie et habilement maniée, elles ont mis au service de la société des agents naturels, dont l'existence matérielle est insaisissable à nos sens, et qui dirigés, enchaînés pour ainsi dire, lui fournissent, les uns des moteurs mécaniques d'une puissance indéfinie, les autres des signaux de communication, transmissibles presque instantanément à toute distance. Que de vues, que de notions nouvelles, surgies pour nous dans le cours du demi-siècle qui vient de s'écouler!

Mais, ce qui n'est pas moins digne d'être remarqué comme un grand fait intellectuel, et comme un présage assuré des progrès futurs, les sciences, qui ont enfanté tant de merveilles, n'ont eu besoin pour cela que d'appliquer invariablement les mêmes principes de philosophie qui ont régi toutes leurs recherches, depuis le temps de Galilée et de Newton. N'est-ce pas un spectacle curieux que de suivre l'application constante de cette philosophie aux idées générales qui ont continuellement changé autour d'elle? (BIOT, *Mélanges scientifiques et littéraires*, t. I. Avertissement.)

Les découvertes scientifiques du XIX[e] siècle. Conservation de la matière et de la force.

Il y a un demi-siècle, la science, pleine de promesses pour ceux qui en avaient sondé les mystères, ne disait encore rien au commun des hommes; son langage était peu compris, même de ceux qui tenaient dans leurs mains les destins des nations. On en regardait les démonstrations et les découvertes d'un œil distrait, en passant, et l'on disait : Que m'importe cela?

Bientôt, cependant, la vapeur couvrait les mers de rapides vaisseaux, les chemins de fer sillonnaient le continent; la pensée circulait d'un hémisphère à l'autre, portée par le souffle muet du télégraphe électrique; la betterave de nos climats glacés bravait la canne à sucre des régions équatoriales; le gaz éclairait nos rues; des sels fossiles fécondaient les terres les plus arides, et les couleurs tirées de la houille déposaient sur les tissus légers des teintes qui rivalisent avec les plus fraîches nuances des fleurs. Mais aussi, les navires à voiles pourrissant dans les ports, les messageries au repos, les routes délaissées, les colons menacés de ruine, tous ces signes d'une puissance irrésistible et sans cesse agissante, avertissaient les héritages et les familles qu'il fallait compter avec la science et ne pas répéter au sujet de ses découvertes : Que m'importe cela?

En même temps, le fer, l'acier, produits en abondance et perfectionnés; la poudre et les matières incendiaires ou fulminantes, rendues maniables; les armes de guerre converties en instruments de précision d'une portée inconnue et d'une puissance monstrueuse, devenaient des engins de dévastation, des instruments de mort et de domination. Devant les maisons en ruines, les moissons incendiées, les tombes sanglantes; devant ces longues cara-

vanes de compatriotes en pleurs, condamnés à l'exil, comment méconnaître encore que la science est devenue une force redoutable, et comment répéter de nouveau, quand on a mission de gouverner les peuples comme politique ou de les défendre comme soldat : Que m'importent ces découvertes?

Enfin, une nouvelle conception de l'univers, reposant sur l'existence des atomes, derniers représentants de la matière, et sur les vibrations de l'éther, derniers symboles de la force, a conduit certaine école à réchauffer des doctrines que la Grèce avait vu naître, et que Lucrèce traduisit en beaux vers pour convertir l'aristocratie voluptueuse de Rome à la philosophie d'Épicure. Dans son antique matérialisme, le poète latin s'écrie : « Il ne se réveille plus, celui qui s'est endormi dans la mort. Nous n'avons que l'usufruit de la vie, sans en avoir la propriété. Quand le corps périt, il faut que l'âme elle-même se décompose; elle se dissout dans les membres. L'âme meurt tout entière avec le corps, et c'est en vain que, dans un tumulte effroyable, la terre se confondrait avec la mer, la mer avec le ciel, rien! rien ne pourrait la réveiller! »

Le matérialisme moderne, se contentant de rajeunir les formules d'Épicure et de Lucrèce, considère le monde, l'homme, comme le produit fortuit de l'arrangement des atomes; comme le terme supérieur de l'évolution naturelle des formes organiques; la vie, comme une modification spontanée de la force; la naissance, comme le début d'un phénomène; la mort, comme sa fin. Lorsque, en conséquence de cette philosophie lamentable, la justice n'est plus qu'une convention sociale; la conscience, un fruit de l'éducation; la charité, l'amitié, l'amour, des formes variées de l'égoïsme, quiconque a charge d'âmes ne doit plus passer à côté de la science en détournant la tête et ne peut plus dire : Que m'importent ces doctrines?

Ces émotions de l'esprit humain, considérables, persis-

tantes, dérivent de notions conformes à nos connaissances, touchant la matière et la force, et des conséquences fausses qu'on en tire, comme si elles représentaient la vérité absolue. Lavoisier, étudiant les actions chimiques, la balance à la main, a prouvé, il est vrai, que dans chacune d'elles le poids des substances produites est égal au poids des substances employées. Acceptons comme une vérité philosophique cette découverte de son génie : la matière est pesante; l'homme n'a jamais rien créé ni rien détruit, qui fût pesant; dans la nature, depuis que l'univers a reçu sa forme actuelle, rien ne se perd, rien ne se crée de ce qui est pesant; la matière se déplace, change d'aspect ou d'état; elle ne périt pas. En serait-il de même à l'égard de la force? Tout en restant impondérable, serait-elle de même changeante dans ses manifestations, perpétuelle dans son activité? L'homme, impuissant à créer la matière, serait-il également impuissant à créer la force? Auguste de la Rive a contribué, pour une large part, à prouver qu'il en est ainsi, et il a su conduire, jusqu'à ses plus hautes conséquences philosophiques, la plus humble des expériences de laboratoire, celle de Galvani. Deux lames, l'une de zinc, l'autre de cuivre, unies par une de leurs extrémités, font naître des sensations, lorsqu'on touche un organe avec leurs deux extrémités libres : la langue perçoit une saveur; l'œil est traversé par des éclairs; l'oreille entend bruire des sons, les muscles sont agités de convulsions. En augmentant le nombre de ces couples métalliques, en étendant leur surface, et en les plongeant dans un liquide salé ou acide, Volta avait construit sa célèbre pile, d'où il a surgi une chaleur et une lumière comparables à celles du soleil, une puissance chimique supérieure à celle des volcans, un magnétisme égal à celui de la terre et des phénomènes physiologiques, considérés, jusqu'alors, comme propres aux seules manifestations de la vie. Fallait-il admettre que tous ces efforts naissent de rien, et que les deux métaux qui les avaient

produits conservaient, sans changements, leur nature, leur poids et toutes leur qualités?

La science allemande encore engagée dans les obscurités de la philosophie de la nature, était de cet avis, malgré les expériences de M. Becquerel père; Auguste de la Rive, dont les études avaient tout embrassé, était d'un avis opposé ; il n'accordait pas si facilement à l'homme la faculté de tirer quoi que ce soit du néant : ni matière, ni mouvement. Toutes les lumières de son esprit se révoltaient contre cette prétention. Il prouva, en effet, qu'il ne se manifeste point d'électricité, si l'un des deux métaux n'est rongé, c'est-à-dire s'il ne subit une véritable action chimique. Le courant électrique est peu sensible, quand l'action chimique est faible; intense, lorsqu'elle est puissante. Le circuit électrique part du métal attaqué et revient vers l'autre. Les deux métaux sont-ils attaqués à la fois, le mouvement électrique part de celui qui l'est le plus vivement. Changez la nature du milieu, et vous renversez, à volonté, l'action chimique et le sens du courant. Cette dernière expérience est décisive. Si le contact de deux métaux différents suffisait pour créer le courant électrique, celui-ci devrait toujours marcher dans le même sens. Si ce courant est le résultat d'une action chimique, il doit, au contraire, marcher tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, partant du métal attaqué et se dirigeant vers celui qui ne l'est pas; c'est ce que constate Auguste de la Rive. Lorsqu'on inscrit l'électricité en recette, il faut donc inscrire la force chimique en dépense. On n'a rien créé; on a transformé. Voilà la théorie de la pile. Ces vérités ont reçu des travaux de Faraday une éclatante consécration; mais on peut rendre au physicien genevois la grande part qui lui est due, sans toucher à la gloire du physicien anglais.

Si le charbon qui brûle explique la force de la machine à vapeur, le zinc qui brûle explique seul la puissance de la pile de Volta. La pile ne crée pas plus l'électricité

qu'elle utilise que la machine de Watt ne crée la chaleur dont elle fait emploi; cette électricité provient tout entière du métal brûlé par les acides. Poursuivant cette pensée, Auguste de la Rive mesure la chaleur qui se manifeste dans les divers éléments d'une pile en pleine activité, et il trouve qu'elle ne dépasse pas celle que produirait l'action chimique exercée sur le métal attaqué, conclusion que les travaux du savant doyen de la faculté de Marseille ont confirmée. La démonstration est donc complète. L'homme ne fait naître ni électricité ni magnétisme, ni chaleur, ni lumière; il tire ces forces des réservoirs qui les recèlent et où il ne les a point placées.

On insiste : dans la nature, telle qu'il nous est permis de la connaître, rien ne se perd et rien ne se crée de ce qui est pesant; nous disposons de la matière à notre gré, pour produire des combinaisons chimiques à l'infini; les forces ne sont que des causes de mouvement que nous transformons, l'une en l'autre, à volonté. Eh bien! est-ce à dire que le monde n'a pas d'autre souverain que l'homme et qu'il le domine en maître? Ceci mérite examen.

Newton considérait la lumière, la chaleur, l'électricité et le magnétisme, comme autant de fluides impondérables distincts. Cette opinion a servi de guide à tous les travaux du XVIIIe siècle et du commencement du XIXe. Elle était l'expression de la vérité de cette époque; les impertinents diraient qu'elle était à la mode; en tout cas, elle avait ses fanatiques alors, et au premier rang Voltaire lui-même, qui s'en disait si bon juge. Elle est absolument abandonnée, aujourd'hui. Une idée indiquée par Descartes et Huygens, et que Newton n'avait ajournée, peut-être, qu'en raison des difficultés qu'elle offrait au calcul, est venue la remplacer. Celle-ci suppose l'existence dans tout l'univers d'une matière élastique, éthérée, c'est-à-dire excessivement subtile, dans laquelle flottent les atomes de la matière pondérable. En agissant les uns sur les autres, ou même par un travail intérieur, ces atomes déterminent

dans l'éther, dont ils sont entourés et pénétrés, des ondulations plus ou moins étendues, plus ou moins rapides. Ces ébranlements de l'éther constituentl a lumière, la chaleur, l'électricité, le magnétisme, dont nous appréciions les effets par nos sens. Les rapprochements et les séparations des atomes eux-mêmes constituent les actions chimiques et produisent ou modifient les corps que nous connaissons. L'atome pesant, l'éther élastique, les vibrations de l'éther, excitées par l'atome, telle est la conception actuelle de l'univers. C'est simple; c'est vrai, peut-être, disait Auguste de la Rive; cependant, qui sait ce qu'on en pensera dans cent ans, dans mille ans? Comment croire qu'après être resté dans l'erreur, sur ces grands objets, depuis le commencement du monde, l'homme, en moins d'un siècle, aurait pénétré toute la vérité et n'aurait rien laissé à découvrir aux siècles à venir? Nos neveux ne souriront-ils pas de notre confiante témérité? Soyons plus modestes!

Parmi les divers modes de mouvement de l'éther, l'électricité est celui qui se manifeste de la manière la plus constante, non seulement dans les réactions des corps bruts, mais aussi dans les phénomènes matériels qu'on observe chez les êtres vivants. On s'était hâté d'en conclure que l'électricité était la vie. Auguste de la Rive n'acceptait pas que la vie pût sortir de cette action inconsciente des atomes sur l'éther. Il ne l'avait jamais vue se manifester spontanément, et il pensait que, depuis son apparition sur la terre, elle s'est constamment transmise des parents aux descendants. Il croyait, enfin, que la personnalité humaine réside ailleurs que dans la poussière dont notre corps est formé. On veut que la matière qui obéit soit éternelle, et que l'esprit qui commande soit périssable! J'aime mieux croire, disait-il, que c'est l'âme intelligente qui est immortelle, et que c'est la matière brute qui est destinée à finir. Il considérait l'univers comme ayant été créé. Il démontrait, comme une vérité

de l'ordre scientifique, et par des arguments que M. Clausius a développés plus tard, après lui, que le monde n'a pas toujours existé, qu'il a commencé et qu'il finira.

Ampère, Faraday, Auguste de la Rive, ont fait de l'électricité l'objet des études de toute leur vie et l'instrument de leurs grandes découvertes; ils étaient tous les trois profondément religieux. Ils aimaient à méditer des sujets qui confinent à la métaphysique : le premier, cherchant à expliquer l'attraction universelle par le magnétisme; le second, niant l'existence de la matière et considérant chaque atome comme un centre de force dont les vibrations se font sentir dans tout l'univers; tous les trois, cherchant à défendre, contre l'invasion des partisans des forces physiques, le terrain réservé à l'esprit, à cette chose qui pense, qui affirme, qui nie, qui veut, qui ne veut pas, qui imagine, qui sent et qui, libre, doit rendre compte de l'usage qu'elle aura fait de la liberté. Ils étaient convaincus que s'abîmer dans de telles méditations, c'était s'élever vers la volonté suprême dont l'intervention directe apparaît toujours, comme le premier et le dernier mot de la création.

Instruit à la même école, on aime à répéter avec eux : L'attraction qui soutient les astres dans l'espace, qui en connaît la nature? L'affinité qui lie les molécules des corps, n'est-ce pas un mot dont le sens nous échappe? Notre esprit se représente la matière comme formée d'atomes, savons-nous s'il existe des atomes? Le physiologiste décrit les phénomènes de la vie, n'ignore-t-il pas ce qu'est la vie? Et le géologue, qui écrit l'histoire du globe dont il n'a pas encore fouillé l'épiderme, soupçonne-t-il l'origine et la fin de la terre qu'il habite? Si, parfois, l'homme se sent fier d'avoir tant appris, ne doit-il pas, plus souvent encore, se sentir bien humble et bien petit de tant ignorer? (Dumas, *Discours et Éloges académiques*, t. I, p. 269 : Éloge d'Auguste de la Rive.)

Le coucher du soleil sur le mont Blanc.

Auguste de la Rive ne se lassait pas du spectacle admirable que présente le coucher du soleil, se dessinant sur la vaste chaîne du mont Blanc, et il a trouvé l'occasion d'une belle étude scientifique dans son entraînement vers le côté pittoresque du phénomène. Au moment où l'astre disparaît de l'horizon, la vallée se couvre d'ombre, la montagne s'obscurcit, peu à peu, de la base au sommet, qui seul reçoit, pendant quelque temps encore, l'impression directe de la lumière. Le reste de la terre étant déjà plongé dans l'ombre, le sommet de la montagne se colore, tout à coup, d'une vive nuance rouge orangé, quelquefois même rouge de feu ou de sang. On dirait comme un immense météore fixe, incandescent, étranger à la terre et suspendu dans les cieux. Cependant l'ombre envahit ces cimes neigeuses à leur tour; leur modelé s'efface, leur teinte aurore pâlit, un aspect cadavéreux la remplace; rien ne rappelle mieux le passage de la vie à la mort sur la figure humaine, que ce contraste rapide de la teinte rosée du jour finissant, au ton blafard et livide qui lui succède sur le front de ce géant de pierre et de neige. Nul n'a été témoin, pour la première fois, de ce spectacle solennel, sans en éprouver une émotion véritable; nul ne l'a vu, sans désirer le revoir encore. Rien n'est plus naturel que cet instinct qui conduit les populations alpestres vers les lieux d'où l'on peut contempler le coucher du soleil sur les hautes montagnes, et que ce silence, recueilli comme une prière, que la fin du phénomène impose à tous les assistants. On a peine à détacher les yeux de cette scène, on se demande si tout est accompli, lorsque, semblant répondre à la pensée du spectateur attristé, la montagne se colore de nouveau d'une teinte rose plus faible, reflet éteint de son premier éclat, et le fait assister parfois à la résurrection du

colosse; enfin cette teinte fugitive s'efface elle-même et disparaît sans retour.

La lueur rosée que l'astre envoie en signe d'adieu aux sommets glacés de ces monts élevés n'a rien d'extraordinaire; elle reproduit, sous une forme particulière, les effets généraux du soleil couchant sur les nuages. Mais d'où vient la seconde coloration? Le sommet du mont Blanc, qui la présente assez souvent, a été l'objet, de la part de notre confrère, d'un grand nombre d'observations; il l'attribuait à la réflexion des rayons rouges, sur quelques plans de vapeurs amassées dans les régions supérieures de l'atmosphère. C'est ainsi qu'il avait été conduit à rechercher ce qu'étaient ces vapeurs et à inventer des appareils pour mesurer les variations de la transparence de l'air, phénomène dont les habitants des montagnes s'occupent avec une sérieuse attention, comme propre à donner des pronostics certains du temps qui se prépare. Lorsqu'ils voient l'air parfaitement transparent, les objets éloignés bien distincts, que les montagnes se rapprochent de l'observateur, quand le ciel est, d'ailleurs, d'un bleu extrêmement foncé, ils regardent la pluie comme très prochaine, quoiqu'il n'en paraisse pas d'autre signe. Le temps est-il décidément au beau, l'air n'est plus parfaitement transparent; on y voit nager comme une vapeur bleuâtre; le ciel est d'un bleu éteint et les montagnes semblent s'éloigner.

Auguste de la Rive a fait voir que ces vapeurs caractéristiques du beau temps sont formées par de véritables poussières, minérales ou organiques, suspendues dans l'air, où elles flottent quand elles sont sèches, retombant sur le sol quand elles sont chargées d'une humidité qui les alourdit. Abondantes, elles font perdre à l'air sa transparence; il la reprend quand elles deviennent rares. Les insectes qui tourbillonnent autour de nous n'échappent point à cette loi. Si les hirondelles rasent la terre à l'approche de la pluie, et remontent bien haut dans les

airs par un beau temps, c'est que, dans le premier cas, les insectes qu'elles poursuivent sont surchargés d'humidité et ne peuvent s'élever, tandis que, dans le second, allégés de ce surcroît de bagage, ils prennent leur essor et montent dans l'espace, à de grandes hauteurs. (DUMAS, *loc. cit.*, p. 287.)

Origine des expériences de physique dans les collèges. Fondation du Muséum.

Étienne Geoffroy, l'auteur du Tableau des affinités chimiques, était né en 1672, à Paris; son bisaïeul avait été premier échevin de cette ville, fardeau déjà lourd, dont le poids ne s'est pas allégé depuis, et son père, qui avait traversé lui-même les dignités municipales, eut le singulier bonheur de lui donner des maîtres qu'un prince aurait enviés. Il se tenait chez lui, en effet, des conférences réglées, où Cassini Ier apportait ses planisphères, le P. Sébastien ses machines, Joblot ses pierres d'aimant, où du Verney faisait ses dissections et Homberg des opérations de chimie; où la curiosité, enfin, attirait d'autres savants fameux et des jeunes gens portant les plus beaux noms de notre histoire. Ces conférences, qui attestent l'esprit supérieur de celui qui les avait instituées, eurent un tel retentissement qu'elles décidèrent l'introduction des expériences de physique dans les collèges et qu'elles servirent de modèle au nouvel enseignement, aujourd'hui si prospère, de la physique expérimentale que toutes les nations nous ont emprunté. Pourquoi serait-il interdit de rappeler leur origine, qu'ils ont oubliée peut-être, aux professeurs de physique de nos lycées et de nos facultés, et pourquoi seraient-ils dispensés de faire acte de reconnaissance envers celui qui l'a si bien méritée?

Un siècle plus tard, un autre Étienne Geoffroy dotait la France d'une institution qui a fait également le tour du

monde, en donnant asile, le 4 novembre 1793, sans hésiter, quoique sans ressources, sans locaux disponibles et sans crédit, aux animaux vivants, dont la police venait subitement d'interdire l'exhibition dans Paris, et en créant ainsi la ménagerie publique du Jardin des plantes. Lorsqu'on visite cette collection ou les jardins zoologiques des pays étrangers qui l'ont imitée, faut-il donc oublier aussi que c'est à notre Étienne Geoffroy que la science et le public doivent ce moyen d'étude et cette source intéressante d'instruction ou de délassement?

Faut-il oublier aussi ce qui s'est passé en Égypte à l'époque où la capitulation de l'armée française mettait un terme à sa glorieuse expédition? Un savant anglais, Hamilton, avait introduit dans le traité un article qui faisait passer aux mains de l'Angleterre les collections précieuses recueillies par l'Institut d'Égypte, seul profit qui nous restât de notre conquête, si l'on compte pour rien la gloire des armes, l'honneur du drapeau et l'amitié du vaincu.

L'Anglais se montrait sourd à toutes les réclamations. Sa dure insistance révolte le même Étienne Geoffroy, qui tout à coup s'écrie : « Non! nous n'obéirons pas. Votre armée n'entre à Alexandrie que dans deux jours. Eh bien, d'ici là le sacrifice sera consommé, nous brûlerons nous-mêmes nos richesses! vous disposerez de nos personnes. » Hamilton demeure frappé de stupeur. « Oui, nous le ferons, répète Geoffroy, alors appuyé par tous ses collègues. C'est à la célébrité que vous visez! Comptez sur le souvenir de l'histoire. Vous aussi, vous aurez brûlé une bibliothèque à Alexandrie! » Les rôles, dès ce moment, étaient renversés; Hamilton, qui aimait les lettres, savait que ce n'est pas en vain qu'on brûle les bibliothèques; il céda, épargnant à son pays un de ces abus de la force que la postérité, dans sa justice, appelle des crimes.

Grâce à Étienne Geoffroy, les collections scientifiques de tout genre, les notes et dessins qui les accompagnaient,

conservés à la France, enrichirent nos musées, servirent de base à l'histoire de l'expédition d'Égypte, œuvre sans égale, et fournirent à Champollion les matériaux de la découverte la plus importante du siècle, la lecture des hiéroglyphes, qui nous a permis de pénétrer enfin les mystères des anciens peuples de l'Orient et de remonter aux origines de la civilisation. (DUMAS, *Discours et Éloges acad.*, t. I, p. 218.)

Le Muséum ayant été bombardé pendant le siège de Paris, M. Chevreul lut à l'Académie la déclaration suivante :

Le jardin des plantes médicinales, fondé à Paris par édit du roi Louis XIII, à la date du mois de janvier 1626;

Devenu le Muséum d'Histoire naturelle par décret de la Convention du 10 juin 1793,

Fut bombardé,

Sous le règne de Guillaume Ier roi de Prusse, comte de Bismark chancelier,

Par l'armée prussienne dans la nuit du 8 au 9 de janvier 1871;

Jusque-là il avait été respecté de tous les partis et de tous les pouvoirs nationaux et étrangers. (E. CHEVREUL, directeur. *Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, t. LXXII, p. 41.)

Paris, le 9 de janvier 1871.

Il n'est pas inutile de rappeler que, quelques mois auparavant, dans la nuit du 24 au 25 août 1870, la Bibliothèque de Strasbourg, une des plus riches de France, avait été brûlée systématiquement en même temps que le Musée et un grand nombre d'édifices, dans l'espoir d'intimider la population et d'amener la capitulation. Ce résultat n'ayant pas été atteint, l'attaque régulière des remparts commença quelques jours après. — J. G.

Claude Bernard.

Parmi les savants qui ont le plus honoré la science au XIXe siècle, peu d'hommes occupent un rang aussi éminent que Claude Bernard. Bien qu'appartenant essentiellement à la physiologie, à laquelle ils ont donné un essor incomparable, ses travaux touchent de près à la physique et à la chimie. Tous ceux qui étudient les sciences physiques et naturelles méditeront toujours avec profit les enseignements contenus dans son beau livre : *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale.* (Paris, J.-B. Baillière, 1 vol. in-8.) Nous y ferons plusieurs emprunts. Une courte esquisse de sa vie et de son œuvre ne paraîtra donc pas déplacée dans ce recueil. Nous l'empruntons au discours prononcé à ses funérailles par l'un des hommes qui l'ont mieux connu et apprécié, le Dr Vulpian.

Claude Bernard, né à Saint-Julien, près de Villefranche (Rhône), le 12 juillet 1813, vint à Paris vers 1834 pour se livrer à l'étude de la médecine et de la chirurgie, et, nommé interne des hôpitaux en 1839, il retourna dans le service auquel il avait déjà été attaché comme externe, le service de Magendie, à l'Hôtel-Dieu. C'est en assistant aux leçons de ce célèbre physiologiste, au Collège de France, qu'il découvrit sa véritable vocation.

Au lieu des cours didactiques de physiologie qu'il avait suivis jusque-là, il voyait, au Collège de France, un professeur faire des expériences devant ses auditeurs, non seulement pour confirmer des données déjà acquises, mais encore, et le plus souvent, pour étudier des problèmes restés sans solution. Au lieu de la physiologie racontée, c'était la physiologie animée, vivante, parlante; c'était l'expérience elle-même saisissant avec force l'attention des assistants et imposant à leur mémoire des souvenirs ineffaçables. C'était, en outre, une série de découvertes pleines d'intérêt, naissant pour ainsi dire sous les yeux des élèves.

L'effet de telles leçons fut décisif. Claude Bernard se sentit expérimentateur. Il entra comme aide bénévole dans le laboratoire de Magendie. Dès la seconde année de son internat, il devenait son préparateur attitré. A dater de cette époque, Claude Bernard se consacra tout entier aux recherches de physiologie, si ce n'est dans un moment de découragement où la carrière scientifique lui parut ne jamais devoir s'ouvrir devant lui et où il revint à la chirurgie.

Un mémoire publié en 1843, sous le titre de *Recherches anatomiques et physiologiques sur la corde du tympan*, et sa thèse inaugurale pour le doctorat en médecine, soutenue en 1843, et intitulée : *Du suc gastrique et de son rôle dans la nutrition*, sont ses premières publications. Depuis lors, Claude Bernard travaille sans relâche; les découvertes succèdent aux découvertes : la célébrité ne tarde pas à s'attacher au nom d'un tel physiologiste. Il supplée d'abord son maître, Magendie, au Collège de France. En 1854, il est nommé professeur à la Faculté des sciences dans une chaire de Physiologie créée pour lui; la même année il est nommé membre de l'Académie des sciences; l'année suivante, il est appelé à remplacer Magendie dans la chaire du Collège de France. En 1868, il quitte la Faculté des sciences pour occuper au Muséum la chaire de Flourens, et, la même année, il le remplace aussi à l'Académie française. La plupart des Sociétés et des Académies étrangères se hâtent de l'admettre au nombre de leurs associés. Il est nommé sénateur, commandeur de la Légion d'honneur, membre de divers ordres étrangers; il a été de ceux qui honorent les distinctions honorifiques qu'ils consentent à accepter.

Parvenu aux situations les plus enviées, il travaille avec la même ardeur que lors de ses débuts, et, chaque année, il fait connaître les résultats de ses infatigables expérimentations. Il y a quelques mois, il lisait à l'Académie des sciences une série de mémoires des plus inté-

ressants sur la glycogénie animale, et, au moment où la maladie est venue le surprendre, il poursuivait de nouvelles recherches. Il meurt donc, on peut le dire, en pleine activité de production scientifique, et, au milieu de notre tristesse et de nos regrets, nous sommes obsédés de la douloureuse pensée que la mort détruit probablement d'importantes découvertes qu'il n'eût pas tardé à nous communiquer.

....Au premier rang de ses travaux se place la série de ses admirables investigations sur la formation du sucre chez les animaux. Ce sont là des recherches qui feront époque dans la science. Non seulement elles nous ont dévoilé un phénomène absolument inconnu jusque-là, la production du sucre par le foie chez tous les animaux, mais encore elles ont éclairé d'une vive lumière le mécanisme de l'influence qu'exerce le système nerveux sur la nutrition intime; en outre, elles ont été le point de départ d'une nouvelle théorie du diabète. Depuis l'époque (1849) où Claude Bernard faisait, à la Société de biologie, sa première communication sur la formation du sucre dans le foie, jusqu'à l'année dernière pendant laquelle il nous donnait lecture de nouvelles recherches sur la glycogénie, il n'a cessé de s'occuper de cette grande question; et l'on peut dire que tout ce que nous connaissons d'important sur elle, nous le lui devons entièrement. Après avoir trouvé que le foie forme du sucre aux dépens du sang qui le traverse et quel que soit le régime de l'animal, il montre que ce sucre est le résultat de la métamorphose d'une substance amyloïde dont il constate le premier la présence dans l'organe hépatique, substance qui se produit dans les cellules propres du foie et à laquelle il donne le nom de *matière glycogène*. Il fait voir ensuite que la quantité de sucre fournie par le foie au sang des veines hépatiques, varie suivant que l'animal est en état de santé ou en état de maladie. Il découvre que la piqûre d'un point particulier du bulbe rachidien exerce une telle

influence sur la formation du sucre par le foie, que le sang, chargé d'une trop grande quantité de ce principe, le laisse échapper par les reins et que l'animal dévient diabétique. Cette découverte tout à fait imprévue excite dans le monde savant un profond étonnement, qui fait bientôt place à l'admiration lorsque le fait annoncé par le physiologiste français est confirmé par tous les expérimentateurs. Par une suite de recherches d'une prodigieuse sagacité, il montre par quelles voies la lésion du bulbe rachidien dont il vient d'indiquer les effets vont agir sur la glycogénie hépatique. Jamais regards plus pénétrants n'avaient plongé dans les profondeurs de la nutrition intime.

....A côté de ce grand travail, et au même rang pour le moins, la postérité placera les recherches de Claude Bernard sur le grand sympathique et sur l'innervation des vaisseaux. Avant ces recherches, on ne connaissait presque rien de l'action du système nerveux sur la production de la chaleur animale.

.... Enfin après avoir parlé du savant illustre, ne dois-je pas dire un mot de l'homme? N'est-ce pas un devoir et le plus doux des devoirs, de rappeler que ce physiologiste de génie fut en même temps le meilleur des hommes? La simplicité de ses manières, son affabilité, la sûreté de ses relations, tout attirait vers lui et le faisait aimer. Dépourvu de vanité, il savait mieux que personne rendre justice au mérite d'autrui, et il était toujours prêt à tendre la main aux jeunes savants pour les aider à gravir les degrés difficiles qui mènent aux positions officielles.

Tels sont les titres de Claude Bernard à l'admiration du monde savant et à la reconnaissance du pays. La postérité le placera au nombre des grands hommes auxquels la physiologie doit ses progrès les plus considérables et son nom rayonnera ainsi à côté de ceux de Harvey, de Haller, de Lavoisier, de Bichat, de Charles Bell, de Flourens et de Magendie. (VULPIAN, *Discours prononcé aux funérailles de Claude Bernard*, le 16 février 1878.)

CHAPITRE II

LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE

Ce n'est pas par caprice, disait Galilée [1], ni faute d'avoir compris Aristote, que je m'écarte quelquefois de son opinion; c'est parce que j'ai des raisons de le faire et que le même Aristote m'a enseigné de n'adhérer qu'à ce qui m'est persuadé par la raison et de ne pas m'en rapporter à la seule autorité du maître. (XII, 11.)

Lorsque les décrets de la nature sont indifféremment exposés aux yeux et à l'intelligence de tout le monde, l'autorité de tel ou tel perd tout pouvoir sur nous; la décision en dernier ressort n'appartient qu'à la raison. (XII, 29.)

C'est une grande erreur que de supposer que les anciens ont tout dit et l'ont bien dit. Car les faits sont en nombre infini, et les hommes ont pu se tromper beaucoup. Croire que les modernes ne peuvent philosopher comme les anciens l'ont fait, c'est traiter la nature de marâtre, c'est admettre qu'elle ne nous a pas donné d'intelligence ni de moyens d'arriver à la vérité, ou qu'elle est plus avare de ses manifestations. (XII, 260.)

1. Ces citations de Galilée sont empruntées à l'ouvrage déjà cité de M. Thurot : *Recherches historiques sur le principe d'Archimède* (p. 54 et 58). M. Thurot cite d'après l'édition d'Alberi (Firenze, 1842-52, in-8). — C'est à cette édition que se rapportent les indications entre parenthèses. — J. G.

Mais si on abandonne Aristote, fait dire Galilée à un des personnages qu'il met en scène, qui servira de guide en philosophie? Nommez un auteur quelconque. — On a besoin d'un guide dans des pays inconnus ou sauvages, mais dans des pays ouverts et en plaine, les aveugles seuls ont besoin de guide; et alors il vaut mieux rester chez soi; mais quiconque a des yeux dans la tête et dans l'esprit, qu'il les prenne pour guide. Je ne prétends pas pourtant qu'on ne doit pas écouter Aristote; j'approuve qu'on le consulte, qu'on l'étudie. Ce que je blâme, c'est qu'on s'abandonne au point de souscrire aveuglément à tout ce qu'il dit et de le tenir pour un arrêt sacré sans en chercher la raison. (X, 126.)

Dans les sciences naturelles, dont les conclusions sont vraies d'une vérité nécessaire et où la volonté humaine n'a aucune part, il faut bien se garder de prendre la défense de l'erreur, parce que mille Démosthènes et mille Aristotes échoueront devant l'esprit le plus médiocre qui aura eu la chance de s'appuyer sur la vérité. (I, 62.)

Je dois reprocher à Sarsi, dit Galilée à l'un de ses adversaires, la ferme persuasion où il est qu'en philosophie il faut s'appuyer sur les opinions de quelque auteur célèbre, comme si notre intelligence devait se marier à la raison d'autrui sous peine de rester stérile et inféconde. Peut-être Sarsi croit-il que la philosophie est un livre, produit de l'imagination d'un individu, comme l'*Iliade* ou le *Roland furieux*, ouvrages où ce qui importe le moins c'est que ce qui y est écrit soit vrai. Non, seigneur Sarsi, il n'en est point ainsi. La philosophie est écrite dans ce grand livre qui est constamment ouvert sous nos yeux, je veux dire l'univers; mais on ne peut le comprendre si on ne s'est pas préparé à entendre la langue et à reconnaître les caractères avec lesquels il est écrit. Il est écrit dans la langue des mathématiques; ces caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans lesquelles il est impossible d'en entendre humainement

un seul mot, autrement on tourne vainement dans un labyrinthe obscur. (IV, 171.)

Galilée dit en parlant de Gilbert : il me paraît encore digne des plus grands éloges pour la multitude d'observations vraies et nouvelles qu'il a faites, à la honte de tant d'auteurs menteurs et vains, qui ne se contentent pas de consigner ce qu'ils savent, mais qui écrivent encore tout ce qu'ils entendent dire au vulgaire ignorant, sans chercher à le vérifier par l'expérience, sans doute pour ne pas diminuer leurs volumes. (I, 439.)

Je ne puis m'empêcher de m'étonner encore que Sarsi s'opiniâtre à me prouver par des témoignages tout ce que je puis voir à toute heure par des expériences. On pèse les témoignages quand il s'agit de choses douteuses, passées et passagères, mais non quand il s'agit de faits présents. (IV, 323.)

Lorsqu'il y a une expérience sensible et évidente, il n'est pas besoin de réfuter des raisonnements qui sont certainement faux ; et vous n'ignorez pas que dans le péripatétisme, comme dans les autres philosophies, une seule expérience manifeste suffit pour énerver mille raisonnements, et que mille raisonnements ne suffisent pas pour rendre fausse une seule expérience vraie. (XII, 315.)

Les expériences sont les meilleures preuves qu'on puisse employer. (XII, 397.)

*
* *

Les philosophes qui ne s'en tiennent qu'à leur propre opinion et à leurs arguments, sans consulter l'expérience, ne sauraient jamais arriver à des déductions sûres et exactes sur les phénomènes naturels qui se manifestent dans les corps terrestres ; c'est pourquoi l'homme qui fait abstraction des résultats acquis par l'expérience s'éloigne de la vérité à une distance plus considérable que celle du soleil à la terre. Lorsque les faits parlent d'eux-mêmes, on

n'a que faire d'hypothèses artificielles; impossible donc de discuter et d'entrer en lice avec celui qui ne veut pas considérer comme preuves des expériences concluantes et qui tombent d'elles-mêmes sous les yeux; qu'il persiste dans ses idées préconçues et qu'il aille se cacher sous terre avec les taupes pour y continuer sa triste existence. (OTHON DE GUERICKE, Préface de son ouvrage : *Experimenta nova* (*ut vocantur*) *magdeburgica*. Amstelodami, 1672.)

*
* *

Il est impossible d'établir aucune science dans les choses naturelles que par des expériences exactes, et pour suivre une bonne méthode, il faut commencer par celles qui sont les plus simples, et qui peuvent servir de principes et de règles pour expliquer les autres. (L'abbé MARIOTTE, *Traité de la nature des couleurs. Œuvres*, édit. de Leyde, p. 197.)

*
* *

Les corps sont composés de particules mues par certains principes actifs, tels qu'est celui de la gravité et celui qui produit la fermentation et la cohésion des corps. Je ne considère pas ces principes comme des qualités occultes qui soient supposées résulter de la forme spécifique des choses, mais comme des lois générales de la nature, par lesquelles les choses mêmes sont formées; la vérité de ces principes se montre à nous par les phénomènes, quoiqu'on n'en ait pas encore découvert les causes. Ces qualités sont manifestes et il n'y a que les causes qui soient occultes. Les Aristotéliciens ont donné le nom de qualités occultes, non à des qualités manifestes, mais à des qualités qu'ils supposaient être cachées dans les corps et être les causes inconnues d'effets manifestes, telles

que seraient les causes de la pesanteur, des attractions magnétiques et électriques, et des fermentations, si nous supposions que ces forces ou actions procédassent de qualités qui nous fussent inconnues, et qui ne pussent jamais être découvertes. Ces sortes de qualités occultes arrêtent le progrès de la philosophie naturelle, et c'est pour cela qu'elles ont été rejetées dans ces derniers temps. Nous dire que chaque espèce de choses est douée d'une qualité occulte spécifique, par laquelle elle agit et produit des effets sensibles, c'est ne nous rien dire du tout; mais déduire des phénomènes de la nature deux ou trois principes généraux du mouvement, et nous expliquer ensuite comment les propriétés et les actions de toutes les choses corporelles découlent de ces principes manifestes, ce serait faire un progrès considérable dans la philosophie, quoique les causes de ces principes ne fussent point encore découvertes. (NEWTON, *Optique*, liv. III. Question 31, à la fin.)

La méthode et les théories en physique.

L'époque que les travaux de Newton ont marquée dans l'histoire des sciences n'est pas seulement celle de la plus importante des découvertes que l'homme ait faites sur les causes des grands phénomènes de la nature, c'est aussi l'époque où l'esprit humain s'est ouvert une nouvelle route dans les sciences qui ont pour objet l'étude de ces phénomènes.

Jusqu'alors on en avait presque exclusivement cherché les causes dans l'impulsion d'un fluide inconnu qui entraînait les particules matérielles suivant la direction de ses propres particules; et partout où l'on voyait un mouvement révolutif, on imaginait un tourbillon dans le même sens.

Newton nous a appris que cette sorte de mouvement

doit, comme tous ceux que nous offre la nature, être ramenée par le calcul à des forces agissant toujours entre deux particules matérielles suivant la droite qui les joint, de manière que l'action exercée par l'une d'elles sur l'autre soit égale et opposée à celle que cette dernière exerce en même temps sur la première, et qu'il ne puisse, par conséquent, lorsqu'on suppose les deux particules liées invariablement entre elles, résulter aucun mouvement de leur action mutuelle. C'est cette loi, confirmée aujourd'hui par toutes les observations, par tous les calculs qu'il exprima dans le dernier des trois axiomes [1] qu'il plaça au commencement des *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Mais il ne suffisait pas de s'être élevé à cette haute conception, il fallait trouver suivant quelle loi ces forces varient avec la situation respective des particules entre lesquelles elles s'exercent, ou, ce qui revient au même, en exprimer la valeur par une formule

Newton fut loin de penser qu'une telle loi pût être inventée en partant de considérations abstraites plus ou moins plausibles. Il établit qu'elle devait être déduite des faits observés, ou plutôt de ces lois empiriques qui, comme celles de Kepler, ne sont que les résultats généralisés d'un grand nombre de faits.

Observer d'abord les faits, en varier les circonstances autant qu'il est possible, accompagner ce premier travail de mesures précises pour en déduire des lois générales, uniquement fondées sur l'expérience, et déduire de ces lois, indépendamment de toute hypothèse sur la nature des forces qui produisent les phénomènes, la valeur mathématique de ces forces, c'est-à-dire la formule qui les représente, telle est la marche qu'a suivie Newton.

1. « Actioni contrariam semper et æqualem esse reactionem ; sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales et in partes contrarias dirigi. »

Elle a été, en général, adoptée en France par les savants auxquels la physique doit les immenses progrès qu'elle a faits dans ces derniers temps, et c'est elle qui m'a servi de guide dans toutes mes recherches sur les phénomènes électro-dynamiques. J'ai consulté uniquement l'expérience pour établir les lois de ces phénomènes, et j'en ai déduit la formule qui peut seule représenter les forces auxquelles ils sont dus; je n'ai fait aucune recherche sur la cause même qu'on peut assigner à ces forces, bien convaincu que toute recherche de ce genre doit être précédée de la connaissance purement expérimentale des lois, et de la détermination uniquement déduite de ces lois, de la valeur des forces élémentaires dont la direction est nécessairement celle de la droite menée par les points matériels entre lesquels elles s'exercent. C'est pour cela que j'ai évité de parler des idées que je pouvais avoir sur la nature de la cause de celles qui émanent des conducteurs voltaïques, si ce n'est dans les notes qui accompagnent l'*Exposé sommaire des nouvelles expériences électro-magnétiques faites par plusieurs physiciens depuis le mois de mars 1821*, que j'ai lu dans la séance publique de l'Académie des sciences, le 8 avril 1822; on peut voir ce que j'en ai dit dans les Notes à la page 215 de mon *Recueil d'observations électro-dynamiques*. Il ne paraît pas que cette marche, la seule qui puisse conduire à des résultats indépendants de toute hypothèse, soit préférée par les physiciens du reste de l'Europe [1], comme elle l'est par les Français; et le savant illustre qui a vu le premier les pôles d'un aimant transportés par l'action d'un fil conducteur dans des directions perpendiculaires à celles de ce fil, en a conclu que la matière électrique tournait autour de lui et poussait ces pôles dans le sens de son mouvement, précisément comme Descartes faisait

1. Voir plus haut, p. 448, la note de Littré sur l'accueil fait en Europe aux travaux d'Ampère. — J. G.

tourner la matière de ses tourbillons dans le sens des révolutions planétaires. Guidé par les principes de la philosophie newtonienne, j'ai ramené le phénomène observé par M. Œrsted, comme on l'a fait à l'égard de tous ceux du même genre que nous offre la nature, à des forces agissant toujours suivant la droite qui joint les deux particules entre lesquelles elles s'exercent, et si j'ai établi que la même disposition ou le même mouvement de l'électricité qui existe dans le fil conducteur a lieu aussi autour des particules des aimants, ce n'est certainement pas pour les faire agir par impulsion à la manière d'un tourbillon, mais pour calculer, d'après ma formule, les forces qui en résultent entre ces particules et celles d'un conducteur ou d'un autre aimant, suivant les droites qui joignent deux à deux les particules dont on considère l'action mutuelle, et pour montrer que les résultats du calcul sont complètement vérifiés : 1° par les expériences que j'ai faites, et par celles qu'on doit à M. Pouillet sur la détermination précise des situations où il faut que se trouve un conducteur mobile, pour qu'il reste en équilibre lorsqu'il est soumis à l'action, soit d'un autre conducteur, soit d'un aimant; 2° par l'accord de ces résultats avec les lois que Coulomb et Biot ont déduites de leurs expériences, le premier relativement à l'action mutuelle de deux aimants, le second à celle d'un aimant et d'un fil conducteur.

Le principal avantage des formules qui sont ainsi conclues immédiatement de quelques faits généraux, donnés par un nombre suffisant d'observations pour que la certitude n'en puisse être contestée, est de rester indépendant tant des hypothèses dont leurs auteurs ont pu s'aider dans la recherche de ces formules que de celles qui peuvent leur être substituées dans la suite. L'expression de l'attraction universelle déduite des lois de Kepler ne dépend point des hypothèses que quelques auteurs ont essayé de faire sur une cause mécanique qu'ils vou-

laient lui assigner. La théorie de la chaleur repose réellement sur des faits généraux donnés immédiatement par l'observation; et l'équation déduite de ces faits, se trouvant confirmée par l'accord des résultats qu'on en tire et de ceux que donne l'expérience, doit être également reçue comme exprimant les vraies lois de la propagation de la chaleur, et par ceux qui l'attribuent à un rayonnement de molécules calorifiques, et par ceux qui recourent, pour expliquer le même phénomène, aux vibrations d'un fluide répandu dans l'espace; seulement, il faut que les premiers montrent comment l'équation dont il s'agit résulte de leur manière de voir, et que les seconds la déduisent des formules générales des mouvements vibratoires; non pour rien ajouter à la certitude de cette équation, mais pour que leurs hypothèses respectives puissent subsister. Le physicien qui n'a point pris de parti à cet égard admet cette équation comme la représentation exacte des faits, sans s'inquiéter de la manière dont elle peut résulter de l'une ou de l'autre des explications dont nous parlons; et si de nouveaux phénomènes et de nouveaux calculs viennent à démontrer que les effets de la chaleur ne peuvent être réellement expliqués que dans le système des vibrations, le grand physicien qui a le premier donné cette équation, et qui a créé pour l'appliquer à l'objet de ses recherches de nouveaux moyens d'intégration, n'en serait pas moins l'auteur de la théorie mathématique de la chaleur, comme Newton est celui de la théorie des mouvements planétaires, quoique cette dernière ne fût pas aussi complètement démontrée par ses travaux qu'elle l'a été depuis par ceux de ses successeurs.

Il en est de même de la formule par laquelle j'ai représenté l'action électro-dynamique. Quelle que soit la cause physique à laquelle on veuille rapporter les phénomènes produits par cette action, la formule que j'ai obtenue restera toujours l'expression des faits. Si l'on parvient à la

déduire d'une des considérations par lesquelles on a expliqué tant d'autres phénomènes, tels que les attractions en raison inverse du carré de la distance, celles qui deviennent insensibles à toute distance appréciable des particules entre lesquelles elles s'exercent, les vibrations d'un fluide répandu dans l'espace, etc., on fera un pas de plus dans cette partie de la physique; mais cette recherche, dont je ne me suis point encore occupé, quoique j'en reconnaisse toute l'importance, ne changera rien aux résultats de mon travail, puisque, pour s'accommoder avec les faits, il faudra toujours que l'hypothèse adoptée s'accorde avec la formule qui les représente si complètement. (AMPÈRE, *Introduction au mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électro-dymaniques, uniquement déduite de l'expérience.* — Extrait de la collection de Mémoires publiés par la Société française de physique. Paris, Gauthier-Villars, t. III, p. 1-5.)

Sur l'esprit de système [1].

En voyant la complaisance du public pour les faiseurs de systèmes qui l'entretiennent tous les jours de leurs rêveries, on ne peut s'empêcher d'admirer le singulier penchant des hommes pour tout ce qui est explication [2]. Personne ne s'informe si les explications sont exactes et précises, si elles sont établies sur des faits bien observés, déduites avec rigueur, confirmées par les phénomènes; on regarde seulement où elles vont; et plus elles vont loin, plus on les reçoit avidement. Les grandes découvertes des

1. Extrait du *Mercure de France*, 1809.

2. Pascal avait dit dans son récit de l'expérience du Puy de Dôme (voir ce volume, p. 136) : « Ce n'est pas en cette seule rencontre, que quand la faiblesse des hommes n'a pu trouver les véritables causes, leur subtilité en a substitué d'imaginaires, qu'ils ont exprimées par des noms spécieux qui remplissent les oreilles et non pas l'esprit. » — J. G.

sciences, dans ces derniers temps, ont merveilleusement excité cette crédulité générale. Après tant de prodiges, rien n'a paru impossible. On a cru qu'un hasard, une idée heureuse, pouvait dévoiler de même, en un instant, tous les mystères de l'univers. Grâce à cette opinion favorable, nous avons vu naître une multitude de systèmes qui se sont détruits les uns et les autres après avoir attiré tour à tour l'attention; et, par l'effet d'un penchant insurmontable, la curiosité publique, tant de fois déçue, n'est pas encore épuisée.

Sans doute, les sciences ne voient point de bornes à leurs découvertes, parce qu'elles n'en ont point dans les objets de leurs recherches. L'inépuisable variété de la nature leur offrira toujours des aliments nouveaux, et nos descendants, plus instruits que nous, connaîtront bien des merveilles qu'il est de notre destinée d'ignorer. Mais ce ne sera point l'esprit de système qui amènera ces découvertes, ce sera l'expérience et le calcul.

Que dirait-on d'un homme qui n'ayant jamais examiné l'intérieur d'une montre, voudrait, par les seules apparences qu'elle présente au dehors, deviner sa structure, expliquer le principe de ses mouvements et la cause qui produit leur régularité! Le mécanisme de la nature a bien une autre complication, et les faiseurs de systèmes ne se donnent seulement pas la peine de l'étudier....

Le véritable objet des sciences physiques n'est pas la recherche des causes premières, mais la recherche des lois suivant lesquelles les phénomènes sont produits. Lorsqu'on explique les mouvements des corps célestes par le principe de la pesanteur, on ne considère point ce principe comme une qualité occulte, naturellement inhérente à la matière, mais comme une loi générale suivant laquelle les phénomènes ont lieu réellement; et cette loi une fois prouvée par les faits, on s'en sert comme d'un moyen de découverte pour trouver les rapports mutuels de tous les phénomènes, pour en prévoir les époques et la durée, non

pas d'une manière incertaine et vague, mais *numériquement* et avec la dernière précision. L'attraction universelle, ainsi établie, ainsi vérifiée, devient elle-même un fait. La cause seule en est occulte, et les mathématiciens ne sont pas logiquement obligés de la définir, parce qu'ils n'ont aucun besoin de la connaître pour découvrir et assigner les lois particulières des phénomènes, qui seules ont de l'intérêt pour nous. Déduire ainsi des observations et de l'expérience un petit nombre de lois générales, ou principes de mouvements, et expliquer ensuite comment les choses observables découlent de ces principes, rigousement et *avec les mêmes rapports numériques* que nous leur trouvons, ce serait le dernier degré de perfection de la philosophie naturelle.

Malheureusement les diverses parties de cette science sont encore bien éloignées d'une telle perfection; car non seulement il y a beaucoup de phénomènes dont les lois physiques nous sont inconnues, mais il en est dont la production même est pour nous une énigme impénétrable, parce que, tantôt ils semblent immédiatement produits par des forces mécaniques qui agissent simplement comme principes de mouvement, sans introduction d'aucune substance matérielle, et tantôt ils paraissent dus à des substances susceptibles de se combiner avec les corps ou de s'en dégager invisiblement, sans rien changer à leurs poids. Tels sont les phénomènes que présentent l'électricité, le magnétisme et la chaleur.

Pour les expliquer, les physiciens ont imaginé certains fluides élastiques doués de propriétés attractives ou répulsives, et capables de pénétrer tous les corps ou seulement quelques-uns d'entre eux; c'est ce que l'on nomme le fluide électrique, le fluide magnétique, et le principe de la chaleur, ou le calorique. Au moyen de ces suppositions, on peut, jusqu'à un certain point, représenter la plupart des phénomènes, c'est-à-dire montrer qu'ils sont des conséquences les uns des autres, et prévoir les effets que leur

combinaison doit amener; mais il en reste encore beaucoup qui se prêtent difficilement à ces explications, et d'autres y échappent entièrement.

Aussi les véritables physiciens admettent-ils la considération de ces fluides uniquement comme une hypothèse commode, à laquelle ils se gardent bien d'attacher des idées de réalité, et qu'ils sont prêts à modifier ou à abandonner entièrement dès que les faits s'y montreront contraires. Ainsi, ayant vu qu'un seul fluide ne suffisait pas pour représenter exactement les phénomènes des attractions et des répulsions électriques, ils n'ont pas fait difficulté d'en admettre deux, dont ils ont défini convenablement les qualités, et qu'ils ont nommé fluide vitré, fluide résineux, du nom des deux électricités contraires. Encore, au moyen de ces deux fluides, ne peut-on pas assigner rigoureusement les lois de tous les phénomènes, parce que le calcul s'applique avec une difficulté extrême à ces suppositions de fluides qui se combinent ou se séparent, et même y répugne en certains points; de sorte que l'on se trouve ainsi privé du seul flambeau qui pourrait guider avec certitude dans ces obscurités. Dans la théorie du magnétisme, peut-être plus obscure encore, on s'est vu conduit à admettre aussi deux fluides, que l'on a nommés fluide boréal et fluide austral, par analogie pour les attractions magnétiques des deux hémisphères terrestres. Dans la théorie de la chaleur, on s'est jusqu'à présent borné à un seul principe; mais on a considérablement multiplié ses propriétés et ses attributions. Dans la dilatation des corps, on a dû le considérer comme une force répulsive placée entre leurs particules. Dans les combinaisons chimiques, il a fallu le considérer comme une substance susceptible d'être absorbée, condensée, ou dégagée. Enfin, dans sa transmission à distance, qui se fait suivant des lois analogues à celles de la lumière, il a fallu reconnaître un rayonnement lancé dans tous les sens par les corps, avec une extrême rapidité. Cette hypothèse, due à Scheele,

et développée avec beaucoup de soin par M. Prévost, de Genève, satisfait très bien à la partie mécanique des phénomènes qu'elle embrasse. Mais de tout cela il résulte que, sur la nature même du calorique, nous ne savons absolument rien de précis; car, si elle nous était connue, toutes ces modifications diverses découleraient d'une même source, et l'on ne serait pas obligé de les imaginer successivement pour chaque classe de faits : encore en est-il, comme les lois de l'élasticité des gaz, qui restent inexplicables, malgré toutes ces suppositions. C'est pour cela qu'en rendant compte dernièrement des *Conversations sur la chimie*, j'ai dit, qu'à mon gré, l'auteur aurait mieux fait de donner moins d'importance à la théorie du calorique considéré comme matière, et surtout de l'exposer avec plus de restrictions. Car si les physiciens qui ont réfléchi sur l'ensemble des phénomènes savent apprécier ces hypothèses, c'est l'expérience qui leur donne cette réserve, et on ne doit pas l'attendre de jeunes esprits, naturellement portés à généraliser tout. Il faut donc toujours, mais principalement dans un ouvrage élémentaire de chimie, présenter ces hypothèses pour ce qu'elles sont, de peur que les élèves, séduits par l'attrait des explications, ne les prennent pour des réalités.

Quelques personnes penseront peut-être que cette manière sévère de considérer les sciences physiques est propre à arrêter l'essor du génie, parce qu'elle arrête les écarts de l'imagination; car maintenant on vante partout l'imagination comme une sorte de qualité ou de vertu suprême, indépendante du bon sens. Mais, au moins dans les sciences, c'est encore le bon sens qui doit servir de règle, et l'imagination doit lui obéir. Cette vérité ne saurait être mieux exprimée que dans le passage suivant de l'*Exposition du Système du monde* :

« Impatient de connaître la cause des phénomènes, le savant doué d'une imagination vive l'entrevoit souvent avant que les observations aient pu l'y conduire. Sans

doute, il est plus sûr de remonter des phénomènes aux causes ; mais l'histoire des sciences nous montre que cette marche, lente et pénible, n'a pas toujours été celle des inventeurs. Que d'écueils doit craindre celui qui prend son imagination pour guide ! Prévenu pour la cause qu'elle lui présente, loin de la rejeter lorsque les faits lui sont contraires, il les altère pour les plier à ses hypothèses. Il mutile, si je puis ainsi dire, l'ouvrage de la nature pour le faire ressembler à celui de son imagination, sans réfléchir que le temps dissipe ces vains fantômes et consolide les résultats de l'observation et du calcul. Le philosophe vraiment utile aux progrès des sciences est celui qui, réunissant à une imagination profonde une grande sévérité dans le raisonnement et les expériences, est à la fois tourmenté par le désir de s'élever aux causes des phénomènes, et par la crainte de se tromper sur celles qu'il leur assignerait. » (BIOT, *Mélanges scient. et litt.*, t. II, p. 109.)

*
* *

C'est sur les choses qu'on ne peut ni voir ni palper qu'il est surtout important de se tenir en garde contre les écarts de l'imagination, qui tend toujours à s'élancer au delà du vrai, et qui a bien de la peine à se renfermer dans le cercle étroit que les faits lui circonscrivent. (LAVOISIER, *Traité élémentaire de chimie. Œuvres*, t. I, p. 20.)

*
* *

Rien n'est plus profitable aux progrès de la science et plus utile au savant que de pouvoir distinguer nettement ce qu'il sait de ce qu'il ne sait pas ; l'état le plus fâcheux pour l'esprit est d'être ignorant sans le savoir. (CLAUDE BERNARD, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXI, p. 1235, année 1875.)

*
* *

Je suis persuadé que, si l'on se détermine à ne pas se payer d'hypothèses et d'expressions mal définies, si l'on se décide à reconnaître son ignorance sur les phénomènes qu'on croit avoir compris parce qu'on les rapporte à des causes occultes, on fera rapidement des progrès dans la voie que nous tracent la physique et les sciences de raisonnement pur. (Henri Sainte-Claire Deville, *Leçons sur la dissociation*, p. 352.)

*
* *

L'observation et l'expérience pour amasser les matériaux, l'induction et la déduction pour les élaborer : voilà les seules bonnes machines intellectuelles. (Bacon.)

L'observateur écoute la nature; l'expérimentateur l'interroge et la force à se dévoiler. (G. Cuvier.)

*
* *

Dans les sciences d'observation, l'homme observe et raisonne expérimentalement, mais il *n'expérimente pas*; et dans ce sens on pourrait dire qu'une science d'observation est une *science passive*. Dans les sciences d'expérimentation, l'homme observe, mais de plus il agit sur la matière, en analyse les propriétés et provoque à son profit l'apparition des phénomènes, qui sans doute se passent toujours suivant les lois naturelles, mais dans des conditions que la nature n'avait souvent pas encore réalisées. A l'aide de ces *sciences expérimentales actives*, l'homme devient un inventeur de phénomènes, un véritable contremaître de la création; et l'on ne saurait, sous ce rapport, assigner de limites à la puissance qu'il peut acquérir sur la nature, par les progrès futurs des sciences expérimentales. (Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris, 1865, p. 33.)

L'*expérimentateur*, comme nous le savons déjà, est celui qui, en vertu d'une interprétation plus ou moins probable, mais anticipée des phénomènes observés, institue l'expérience de manière que, dans l'ordre logique de ses prévisions, elle fournisse un résultat qui serve de contrôle à l'hypothèse ou à l'idée préconçue.... Or, dès le moment où le résultat de l'expérience se manifeste, l'expérimentateur se trouve en face d'une véritable observation qu'il a provoquée, et qu'il faut constater, comme toute observation, sans aucune idée préconçue. L'expérimentateur doit alors disparaître ou plutôt se transformer instantanément en observateur; et ce n'est qu'après qu'il aura constaté les résultats de l'expérience absolument comme ceux d'une observation ordinaire, que son esprit reviendra pour raisonner, comparer et juger si l'hypothèse expérimentale est vérifiée ou infirmée par ces mêmes résultats. Pour continuer la comparaison énoncée plus haut, je dirai que l'expérimentateur pose des questions à la nature; mais que, dès qu'elle parle, il doit se taire; il doit constater ce qu'elle répond, écouter jusqu'au bout et, dans tous les cas, se soumettre à ses décisions. L'expérimentateur doit forcer la nature à se dévoiler, a-t-on dit. Oui, sans doute, l'expérimentateur force la nature à se dévoiler, en l'attaquant et en lui posant des questions dans tous les sens; mais il ne doit jamais répondre pour elle ni écouter incomplètement ses réponses, en ne prenant dans l'expérience que la partie des résultats qui favorisent ou confirment l'hypothèse. Nous verrons ultérieurement que c'est là un des plus grands écueils de la méthode expérimentale. L'expérimentateur qui continue à garder son idée préconçue, et qui ne constate les résultats de l'expérience qu'à ce point de vue, tombe nécessairement dans l'erreur, parce qu'il néglige de constater ce qu'il n'avait pas prévu et fait alors une observation incomplète. L'expérimentateur ne doit pas tenir à son idée autrement que comme à un moyen de solliciter une réponse de la

nature. Mais il doit *soumettre* son idée à la nature et être prêt à l'abandonner, à la modifier ou à la changer, suivant ce que l'observation des phénomènes qu'il a provoqués lui enseignera. (CLAUDE BERNARD, *Introduction*, etc., p. 40.)

Tous les termes de la méthode expérimentale sont solidaires les uns des autres. Les faits sont les matériaux nécessaires; mais c'est leur mise en œuvre par le raisonnement expérimental, c'est-à-dire la théorie, qui constitue et édifie véritablement la science. L'hypothèse expérimentale n'est que l'idée scientifique, préconçue ou anticipée. La théorie n'est que l'idée scientifique contrôlée par l'expérience. Le raisonnement ne sert qu'à donner une forme à nos idées, de sorte que tout se ramène primitivement et finalement à une idée. C'est l'idée qui constitue, ainsi que nous allons le voir, le point de départ ou le *primum movens* de tout raisonnement scientifique, et c'est elle qui en est également le but dans l'aspiration de l'esprit *vers l'inconnu*. (CLAUDE BERNARD, *Introduction*, etc., p. 47.)

L'application de l'analyse mathématique à des phénomènes naturels, quoique très simples, peut avoir des dangers si la vérification expérimentale est repoussée d'une manière complète. Dans ce cas, l'analyse mathématique devient un instrument aveugle si on ne la retrempe de temps en temps au foyer de l'expérience. J'exprime ici une pensée émise par beaucoup de grands mathématiciens et de grands physiciens, et, pour rapporter une des opinions les plus autorisées en pareille matière, je citerai ce que mon savant confrère et ami M. J. Bertrand a écrit à ce sujet dans son bel éloge de Sénarmont : « La géométrie ne doit être pour le physicien qu'un puissant auxiliaire : quand elle a poussé les principes à leurs dernières conséquences, il lui est impossible de faire davantage, et l'incertitude du point de départ

ne peut que s'accroître par l'aveugle logique de l'analyse, si l'expérience ne vient à chaque pas servir de boussole et de règle. » (CLAUDE BERNARD, *Introduction*, etc., p. 53.)

L'expérimentateur doit douter, fuir les idées fixes et garder toujours sa liberté d'esprit. (CLAUDE BERNARD, *Introduction*, etc., p. 63.)

L'esprit vraiment scientifique devrait nous rendre modestes et bienveillants. Nous savons tous bien peu de choses en réalité, et nous sommes tous faillibles en face des difficultés immenses que nous offre l'investigation des phénomènes naturels. (CLAUDE BERNARD, *Introduction*, etc., p. 69.)

La vraie méthode scientifique nous apprend que la contradiction expérimentale n'existe pas. Quand on la rencontre, on peut affirmer qu'elle est toujours le résultat, ou de notre ignorance ou d'un vice de méthode ou de l'imperfection de nos moyens d'investigation. (CLAUDE BERNARD, *Comptes rendus de l'Ac. des sc.*, t. LXXXII, p. 177, 1876.)

J'ai dit qu'il faut aujourd'hui établir en physiologie une discipline méthodique et une bonne critique expérimentale. Dans toutes les sciences, les faits bien observés restent immuables; mais, quand la science est aussi complexe et aussi peu avancée que la physiologie, les théories se modifient et doivent se modifier, à mesure que nous acquérons des faits nouveaux et que nous nous instruisons davantage. Nous ne procédons pas systématiquement et notre critique expérimentale ne saurait avoir ici pour objet de défendre ou de combattre un système ou des vues *a priori* quelconques; nous chercherons, au contraire, à faire dégager la théorie, successivement et comme d'elle-même, de l'interprétation des faits. Le savant est le secrétaire de la nature; ce n'est pas lui qui dicte les lois des phénomènes, il doit se borner à les

étudier, à les inscrire en cherchant à les comprendre de son mieux. (CLAUDE BERNARD, *Comptes rendus de l'Ac. des sc.*, t. LXXXII, p. 179, 1876.)

Les phénomènes de la nature, par eux-mêmes, ne sauraient jamais être en contradiction : ce sont les opinions erronées des hommes qui seules les contredisent; et, à ce sujet, on confond presque toujours l'interprétation des faits avec les faits eux-mêmes. Quand on dit, par exemple, qu'il y a ou qu'il n'y a pas de sucre dans le sang des diabétiques, on n'exprime pas un fait, comme on semble le croire : on émet simplement une opinion ou une interprétation déduite de l'emploi des méthodes ou de procédés de recherches qui constituent seuls les faits nécessaires à connaître pour porter un jugement sur l'opinion exprimée. (CLAUDE BERNARD, *Comptes rendus de l'Ac. des sc.*, t. LXXXII, p. 779, 1876.)

*
* *

L'expérimentateur, homme de conquêtes sur la nature, se trouve sans cesse aux prises avec des faits qui ne se sont point encore manifestés et n'existent, pour la plupart, qu'en puissance de devenir dans les lois naturelles. L'inconnu dans le possible et non dans ce qui a été, voilà son domaine, et, pour l'explorer, il a le secours de cette merveilleuse méthode expérimentale, dont on peut dire avec vérité, non qu'elle suffit à tout, mais qu'elle trompe rarement et ceux-là seulement qui s'en servent mal. Elle élimine certains faits, en provoque d'autres, interroge la nature, la force à répondre et ne s'arrête que quand l'esprit est pleinement satisfait. Le charme de nos études, l'enchantement de la science, si l'on peut ainsi parler, consiste en ce que, partout et toujours, nous pouvons donner la justification de nos principes et la preuve de nos découvertes. (PASTEUR, *Discours de réception à l'Académie française*, 27 avril 1882.)

*
* *

Le soin principal des astronomes depuis Newton, comme des physiciens depuis Galilée, a été et est toujours de distinguer les *lois*, c'est-à-dire les relations déterminées entre des phénomènes observables, des *hypothèses* et représentations que l'on peut faire de ces phénomènes.

Sans doute, les représentations sont commodes, et même nécessaires, pour trouver des choses nouvelles; mais elles varient au gré de l'imagination de chacun; gardons-nous d'en faire la base même de la science et l'objet d'une controverse perpétuelle.

Hypotheses non fingo, disait Newton; ce qui signifie que la science doit être formulée par des lois et non par des hypothèses. En effet les lois peuvent être proposées, discutées, établies d'une manière définitive; elles sont alors le fondement solide d'une science qui se développe sans cesse, suivant des formules et un langage acceptés de tous. (BERTHELOT, *Comptes rendus de l'Ac. des sc.*, t. LXXXIV, p. 1195, 1877.)

*
* *

Notre Institut sera à la fois un dispensaire pour le traitement de la rage, un centre de recherches pour les maladies infectieuses et un centre d'enseignement pour les études qui relèvent de la microbie. Née d'hier, mais née tout armée, cette science puise une telle force dans ses victoires récentes qu'elle entraîne tous les esprits.

Cet enthousiasme que vous avez eu dès la première heure, gardez-le, mes chers collaborateurs, mais donnez-lui pour compagnon inséparable un sévère contrôle. N'avancez rien qui ne puisse être prouvé d'une façon simple et décisive.

Ayez le culte de l'esprit critique. Réduit à lui seul, il n'est ni un éveilleur d'idées, ni un stimulant de grandes

choses. Sans lui, tout est caduc. Il a toujours le dernier mot. Ce que je vous demande là et ce que vous demanderez à votre tour aux disciples que vous formerez est ce qu'il y a de plus difficile à l'inventeur.

Croire que l'on a trouvé un fait scientifique important, avoir la fièvre de l'annoncer et se contraindre des journées, des semaines, parfois des années à se combattre soi-même, à s'efforcer de ruiner ses propres expériences, et ne proclamer sa découverte que lorsqu'on a épuisé toutes les hypothèses contraires, oui, c'est une tâche ardue.

Mais quand après tant d'efforts on est enfin arrivé à la certitude, on éprouve une des plus grandes joies que puisse ressentir l'âme humaine, et la pensée que l'on contribuera à l'honneur de son pays rend cette joie plus profonde encore.

Si la science n'a pas de patrie, l'homme de science doit en avoir une, et c'est à elle qu'il doit reporter l'influence que ses travaux peuvent avoir dans le monde. (Pasteur, *Discours prononcé à l'inauguration de l'Institut Pasteur*, le 14 novembre 1888.)

CHAPITRE III

GRANDEUR ET LIMITES DE LA SCIENCE

Je ne sais pas, disait Newton, ce que je parais au monde; pour moi, je me compare à un jeune enfant jouant sur le bord de la mer, ramassant, çà et là, un caillou plus ou moins lisse, ou une coquille d'une beauté peu ordinaire, pendant que le grand océan de vérité reste complètement caché à mes yeux. (ARAGO, *Notices biographiques : Newton*, t. III, p. 336.)

*
* *

Pourquoi la science de l'homme, complète dès les premiers âges, a-t-elle touché le but d'un seul jet? Pourquoi la science de la nature, s'élevant à une conception de plus en plus abstraite des faits, voit-elle l'objet qu'elle poursuit s'éloigner sans cesse? C'est que l'homme s'étudiant lui-même, a bientôt reconnu qu'au delà des organes il y a une volonté, au delà des sens un esprit, au-dessus de l'argile dont son corps est pétri, une âme dont il ignore la nature, l'origine et la destinée. Quand le matérialisme déclare qu'il n'y a rien dans l'intelligence qui n'ait été d'abord dans la sensation, Leibnitz peut lui répondre : Si ce n'est l'intelligence elle-même, source unique de la puissance. Dès que l'homme pense, le sen-

timent de l'infini lui est révélé, et, l'infini se montrant inaccessible, sa pensée s'arrête au bord du gouffre de l'inconnu. En face de la nature, observant les faits et remontant vers leur cause première et souveraine, il avait besoin au contraire de ce travail, dont l'origine nous reporte à quarante siècles et se perd dans la nuit des temps, pour reconnaître que c'est encore l'infini qui la dérobe à ses yeux, mais, plus il avance, mieux cette vérité supérieure se dégage.

Ces conclusions, développées par M. Guizot[1] avec l'autorité qui lui appartient, s'adressent à la philosophie du sensualisme; elles ne sont pas contredites par les études du temps présent. De grandes découvertes ont enrichi la science; on a dit même qu'elles touchaient enfin aux limites qui ont séparé jusqu'ici la matière de l'esprit. Il n'en est rien. L'astronomie, il est vrai, ne représente plus le firmament comme une voûte solide sur laquelle seraient fixées les étoiles; ses instruments et ses calculs plongent dans le vaste Univers; la mécanique ouvre, à travers les isthmes et les montagnes, des chemins au commerce des nations; la physique transporte la pensée sur les ailes de l'électricité, d'un hémisphère à l'autre, avec la vitesse de l'éclair; la chimie pénètre par son analyse jusqu'aux profondeurs extrêmes des cieux, et reproduit par ses synthèses les parfums les plus suaves ou les nuances les plus délicates des fleurs qui ornent la terre; cependant l'espace, le temps, le mouvement, la force, la matière, la création de la nature brute et le néant demeurent autant de notions primordiales dont la conception nous échappe.

La physiologie, de son côté, nous montre les plantes préparant sous l'influence du soleil les aliments des animaux; la destruction des animaux restituant aux plantes les principes dont elles se nourrissent; la matière minérale formant la trame des matières organiques, sous

1. M. Dumas remplaçait M. Guizot.

l'influence de la vie; mais elle ne sait rien de la nature et de l'origine de cette vie qui se transmet mystérieusement de générations en générations, depuis son apparition sur la terre; d'où elle vient, la science l'ignore; où va la vie, la science ne le sait pas, et, quand on affirme le contraire en son nom, on lui prête un langage qu'elle a le devoir de désavouer. (DUMAS, *Discours de réception à l'Académie française*, 1er juin 1876.)

Les forces physiques. — La circulation des éléments.

L'âme humaine, immortelle, immatérielle et libre; les forces impondérables dont elle dispose; les matières organiques que son souffle pétrit et façonne; les matières minérales qu'elle leur associe : quatre grands aspects de la vie, quatre grands problèmes de la mort.

L'Église a posé et résolu le dernier d'entre eux dans cette phrase terrible et sublime qu'elle inscrit sur nos fronts, chaque année, quand elle y dépose une cendre symbolique et qu'elle répète le *Memento quia pulvis es et in pulverem reverteris.*

La chimie moderne a résolu le troisième, quand elle a fait voir que l'air renferme tous les éléments des matières organiques; que les plantes sont les enfants de l'air; que les animaux dérivent tous des plantes; que toutes les matières organiques, enfin, représentent sur la terre des portions condensées de l'air proprement dit. Elle pourrait, frappant à son tour l'orgueil de l'homme, lui dire : Souviens-toi que tu n'es que vaine fumée et que tu retourneras en fumée.

Mais la physique nous dira-t-elle ce que sont les forces de la vie? Sans doute, la lumière, la chaleur, l'électricité, y jouent leur rôle. Le flambeau de Prométhée n'est pas un vain jouet de l'enfance du monde, et, sous son manteau, la Fable cache plus d'une vérité philosophique. Cependant, jusqu'ici, ces forces ne sauraient représenter toutes

celles que la vie utilise. La force nerveuse dans les animaux supérieurs, des forces plus obscures encore dans les animaux inférieurs et dans les plantes, se dérobent à toute assimilation de ce genre.

Si Lamennais, dans sa magnifique synthèse de l'univers, n'hésite point à conclure que l'éther, fonds commun des êtres, est l'unité première dans laquelle tout se résume, nous ne pouvons pas imiter ici sa hardiesse.

Et bien qu'il soit certain aujourd'hui que le magnétisme et l'électricité ne constituent qu'un seul et même fluide; bien qu'il soit probable que la chaleur, la lumière et l'électricité sont unies elles-mêmes par des liens intimes; ici, dans le sanctuaire de l'observation et de l'expérience, nous devons attendre, pour admettre l'unité des forces de la nature, qu'un nouvel Oersted, qu'un nouvel Arago, qu'un nouveau Faraday ait reproduit avec de l'électricité quelque force nerveuse, qu'avec la force nerveuse elle-même il ait régénéré de l'électricité....

Il y a dans les mers du Sud des îles qui s'élèvent peu à peu du sein de l'Océan, qui, bornées d'abord, s'étendent ensuite, comme une coupe dont les bords épaissis et étalés agrandiraient sans cesse le contour.

Formées par des polypiers, par des coraux, ces îles, envahies par quelques plantes, deviennent le siège d'une végétation active; le terreau s'amasse au fond de leur cratère et le remplit. Les animaux, l'homme s'en emparent, et le germe d'un nouvel empire apparaît sur la terre.

Pourquoi ces polypiers dirigent-ils donc avec tant d'ardeur leur travail incessant de dedans en dehors; quelle est la particularité de leur organisation, quelle est la loi imposée à leur immense famille, qui les soumet à se ranger à une règle si favorable aux conquêtes que la terre fait tous les jours sur l'empire de Neptune?

Ne vous confondez pas en vaines suppositions; les lois de l'organisme n'y sont pour rien, les instincts de la vie n'y sont pas davantage.

Mais ces polypiers ont besoin de calcaire, pour construire leur demeure; ils en trouvent en dissolution dans l'eau des mers; ils l'en séparent, à mesure que celle-ci traverse leur tissu serré. En dedans de la coupe immense qui s'élève du fond des eaux, le calcaire est donc rare; en dehors il abonde : voilà, d'après M. Forchammer, tout le secret de cette forme providentielle, de cette tendance excentrique de leurs travaux. Voilà la mesure du rôle que la matière minérale, en général, que le calcaire, dans ce cas particulier, peuvent jouer dans le développement des êtres organisés.

N'est-ce pas un spectacle plein de grandeur que celui que la nature nous offre, dans la sublime simplicité de ses moyens? L'eau des pluies, chargée de l'acide carbonique de l'air, tombe sur nos collines calcaires; elle s'y charge d'une parcelle de carbonate de chaux, qu'elle verse dans la Seine, portée dans l'Océan; des courants réguliers l'entraînent, et bientôt, saisie par des animaux microscopiques, elle ajoute une pierre imperceptible à l'édifice de ces empires nouveaux qui s'y préparent pour l'avenir de l'humanité.

Le phosphate de chaux fait la base du squelette de tous les animaux supérieurs; il se retrouve dans les tissus et les liquides de leur économie. L'analyse le reconnaît dans les animaux inférieurs, dans les plantes elles-mêmes.

Le phosphore que ce sel renferme figure à son tour d'une manière mystérieuse dans la composition de la substance cérébrale et nerveuse, il se retrouve dans la laitance et dans les liqueurs analogues.

Or, le phosphore, le phosphate de chaux, sont si rares dans la nature, que, frappé de la difficulté que le sol éprouve à le fournir aux plantes, un chimiste illustre s'écriait : « Rome a succombé le jour où la Sicile, épuisée de phosphate de chaux, n'a pu lui fournir le blé nécessaire à sa population immense ».

Il faut donc que ce phosphate de chaux retourne à la

terre; et pour assurer ce retour, quels moyens simples et ingénieux la nature met en œuvre!

Recueillis dans le sol par les plantes, ces phosphates passent dans les animaux herbivores et de ceux-ci dans les carnivores où ils se concentrent. Mais, à partir de ce moment, tout tend à les disséminer.

Si l'animal meurt, c'est une mouche qui pond ses œufs dans les flancs de son cadavre; il en naît des milliers de larves. Repues de sa chair, de son sang, elles poursuivent le cours de leurs métamorphoses, et bientôt, prenant des ailes à leur tour, elles portent au loin et dispersent en tous sens les phosphates qu'elles s'étaient assimilés.

Ce n'est pas sans but que la nature a voulu que ces chairs putrides, en proie aux vers qui les dévorent, fussent pour les grands animaux l'objet d'une répugnance profonde. Repoussés par l'aspect, par l'odeur de ces cadavres infects, on les voit s'éloigner pour la plupart, respectant le mystère qui s'accomplit.

Si les insectes répandent de toutes parts les phosphates contenus dans les chairs des cadavres, les hyènes, les chacals, les chiens dévorant les os, à leur tour, jouent à leur égard le même rôle.

Mais cela ne suffisait pas; abandonnés à eux-mêmes, sur le sol, les os se divisent peu à peu et disparaissent. Quelle est la force nouvelle qui intervient pour en dissocier les éléments?

D'après mes expériences, c'est l'eau; non pas l'eau pure : le phosphate de chaux des os y est insoluble; mais l'eau chargée d'acide carbonique, celle des pluies, des sources, celle en un mot qui baigne partout le sol. A la faveur de cet acide carbonique, le phosphate de chaux se dissout, les os se désagrègent, et les derniers vestiges de la vie animale disparaissent.

Mais, vous le savez, c'est cet acide carbonique dissous par les eaux, pénétrant dans les plantes et décomposé

sous l'influence de la radiation solaire, qui fait leur nourriture principale.

Admirable mécanisme, qui permet que, à mesure que l'acide carbonique se détruit dans les feuilles, le phosphate de chaux redevienne insoluble et puisse entrer dans la composition des tissus du végétal.

Quel rôle y joue-t-il? Un rôle indispensable, car c'est par lui que toutes les matières azotées résistent à l'action de l'eau qui tend à les dissoudre, à les gonfler, à les désagréger. Il donne à nos tissus leur stabilité, comme il rend nos os fermes et solides; il protège de même par sa présence tous les tissus des plantes.

Peut-être faut-il concevoir qu'au moment où une molécule d'acide carbonique se décompose dans la feuille, qu'au moment où le phosphate de chaux qu'elle tenait en dissolution devient libre, c'est lui qui, s'emparant de l'albumine de la plante, produit ces flocons nuageux, première origine des cellules que chaque instant voit naître.

Retournez le tableau maintenant et suivez cet air qui pénètre dans les cellules de votre poumon, qui se dissout dans votre sang pour y brûler le charbon qu'il renferme et reproduire l'acide carbonique dont nous constations la décomposition tout à l'heure.

Le sang veineux contiendra donc de l'acide carbonique propre à rendre soluble le phosphate de chaux. Le sang veineux tendra donc, comme l'eau des pluies, à désagréger, à dissoudre nos os, à gonfler, à dissoudre tous nos tissus, toutes les cellules qui les constituent.

Sous son influence, la matière animale entraînée ira donc se brûler pour développer la chaleur qui nous est nécessaire, le phosphate de chaux dissous ira donc s'évacuer par les sécrétions urinaires.

Ainsi, une goutte d'eau chargée d'acide carbonique, dissolvant du phosphate de chaux et frappée par les rayons du soleil, voilà la vie qui commence.

Une goutte de sang veineux saturée d'acide carbonique et rongeant nos tissus à qui elle enlève leur phosphate de chaux, voilà la vie qui finit.

Dans la plante, une cellule qui s'organise; dans l'animal, une cellule qui se détruit; là, de l'acide carbonique qui se décompose; ici, de l'acide carbonique qui se reproduit; là, du phosphate de chaux qui devient insoluble; ici, du phosphate de chaux qui se redissout; et ces faibles efforts peuplant la terre et les mers de tant d'êtres qui embellissent ou qui animent sa surface, qui sentent, qui pensent, témoignage sans cesse renaissant de la toute-puissance de la nature.

Vous montrerai-je, à son tour, le soufre voyageant d'un règne à l'autre, remontant des mers dans l'atmosphère pour retourner de là dans le sol, dans les plantes, dans les animaux, et redescendre la pente des fleuves qui le ramènent à la mer?

Que le mécanisme de toutes ces mutations est simple, mais qu'il est efficace et sûr! La mer contient des sulfates, elle nourrit des mollusques. Les humeurs que ceux-ci sécrètent, avides d'oxygène, changent ces sulfates en sulfures. L'eau des mers dégage alors de l'hydrogène sulfuré. L'air l'emporte bientôt au loin, jusqu'à ce qu'il rencontre les débris de quelques plantes, dont les pores, par une propriété mystérieuse, obligent cet hydrogène sulfuré à se brûler et à produire ainsi de l'acide sulfurique; les sulfates dès lors sont régénérés.

Cet hydrogène sulfuré qui se dégage des matières animales putrescentes, des égouts infects, des boues en décomposition, qui empeste le sous-sol de nos rues, qui souille toutes nos peintures, cet hydrogène sulfuré est l'un des termes les plus indispensables de l'une de ces grandes équations avec lesquelles se joue la balance de la nature.

Il lui faut deux millions de kilogrammes de soufre au moins pour répondre aux besoins de la population

humaine de la France; il n'en faut pas moins de dix millions de kilogrammes pour représenter la masse qui est contenue dans l'ensemble des êtres organisés que ce coin du globe alimente. Les sulfates que le sol recèle, cédant leur soufre aux plantes qui le donnent aux animaux, la terre en serait bientôt épuisée, si le réservoir des mers ne rendait pas sans cesse et partout, sous la forme d'hydrogène sulfuré, ce soufre si nécessaire à la vie des plantes, à celle des animaux.

Admirables lois de la nature, qui, opposant sans cesse les deux règnes, permettent qu'en se multipliant les animaux augmentent la nourriture des plantes destinées elles-mêmes à leur servir d'aliments, qui veulent qu'à mesure que la végétation s'étend, l'air qu'elle purifie et les ressources qu'elle enfante soient à leur tour une excitation au développement des animaux!

Faut-il présenter à vos regards ce singulier contraste, qui veut que, des deux alcalis minéraux que la chimie vous signale, la potasse se concentre surtout dans les plantes, la soude plus particulièrement dans les animaux?

L'eau que nous buvons renferme toujours du sel marin, nos aliments en contiennent, et par là se conserve, malgré des pertes incessantes, celui dont notre sang a besoin.

Nos excrétions rejettent la potasse et la rendent à la terre, au grand profit de la végétation; et comme la potasse est soluble toutefois, que le cours naturel des eaux l'entraîne sans cesse vers les fleuves et des fleuves dans la mer, à combien d'artifices l'agriculture n'a-t-elle pas recours pour la restituer à la terre épuisée!

C'est la potasse qu'elle recherche dans les cendres qu'elle répand sur ses champs; c'est elle qui, pour une part importante, assure au fumier de nos fermes sa fécondité; c'est elle encore que la chaux jetée sur le sol va déplacer lentement dans les silicates alcalins contenus dans toutes les terres argileuses.

Mais, quoique le sel marin abonde dans l'eau des mers,

la potasse s'y trouve aussi, et les plantes marines, tout aussi sensibles à cet égard que les plantes terrestres, condensent dans leurs tissus ces sels à base de potasse et retiennent à peine de faibles doses du sel marin qui les a traversées en quantités si énormes.

N'est-ce pas, dès lors, en rendant à la terre épuisée de potasse cet alcali, que ses vins en exportent sans cesse sous la forme de crème de tartre, que l'agriculteur des environs de Montpellier fume ses vignes avec tant de succès au moyen du jonc marin?

N'est-ce pas en grande partie aussi par les sels de potasse qu'ils leur restituent, que les varechs, si abondants sur les côtes de l'Océan, répandus sur les champs du littoral, leur assurent une invariable fécondité?

Pourquoi n'ajouterais-je pas que je voudrais qu'une expérience étendue vînt constater si l'eau mère des marais salants, si riche en sels à base de potasse, ne pourrait pas faire elle-même la base d'un engrais excellent?

J'aimerais, je l'avoue, que cette pensée fût confirmée. J'aimerais à voir cette eau des mers, où viennent aboutir et se confondre tous les résidus de la vie, séparée en deux parts, obéir à la main de l'homme : concentrant, dans les sels cristallisables qu'elle abandonne, la soude, véritable aliment pour lui et pour les animaux qu'il associe à sa destinée; laissant, dans les sels qui ne cristallisent pas, la potasse, aliment indispensable à la vigueur des plantes qu'il met en culture.

Mais ces grands exemples suffisent. A quoi bon chercher maintenant comment le fer se concentre dans les feuilles des plantes, dans le sang des animaux; comment le fluorure de calcium suit le sort du phosphate de chaux et s'associe à lui dans l'émail de nos dents; comment la silice recherche les graminées et séjourne peu dans les animaux vivants; comment, au contraire, elle prend la place de leurs tissus mous dans tant de fossiles?

N'en ai-je pas dit assez pour vous prouver que, si aux

yeux du chimiste abstrait les matières organiques pures ont seules de l'importance, pour nous, qui cherchons à pénétrer le mécanisme et à préciser les lois de la vie, tout ce qui entre dans la substance des êtres organisés a droit à la même attention?

Le phosphate de chaux et le sel marin que l'homme renferme nous intéressent à l'égal de sa fibrine ou de sa gélatine.

Ne perdez donc pas de vue, mes jeunes amis, dès vos premiers pas dans la carrière, que la chimie minérale joue, dans l'explication des phénomènes physiologiques, un rôle au moins aussi étendu que celui qu'on attribue à la chimie organique.

Ne perdez pas de vue que la connaissance des matières minérales, que l'étude des matières organiques sont les deux colonnes sur lesquelles vous devrez vous appuyer pour aborder avec pleine connaissance de cause l'examen des phénomènes chimiques de la vie.

Sacrifier l'une de ces connaissances, négliger l'une de ces études, ce serait s'exposer à voir sous un jour faux et incomplet ces faits de la vie dont il vous importe, à tant de titres, de vous faire au contraire une idée large et précise à la fois. (DUMAS, *Discours et Éloges acad.*, t. I, p. 63.)

*
* *

Tout en faisant leur part aux dogmes politiques de Rousseau, vous accusez la fausse philosophie qui avait séduit de son temps la noblesse, la magistrature, la finance et la bourgeoisie, d'avoir produit, en devenant pratique, la révolte sociale des campagnes. Vous essayez même, préludant peut-être aux conclusions d'un ouvrage inachevé, de caractériser d'une manière nouvelle le rôle de la science dans ce grand cataclysme de toute autorité et de toute croyance où seul demeura debout cet ardent

et noble patriotisme par lequel la France fut sauvée.

Vous avez raison. Les droits de l'homme, ses devoirs envers lui-même, envers la famille ou l'État, dérivent directement de la théorie de la création. Il y a toujours un créateur, qu'il s'appelle hasard ou sagesse; mais celui qui attribue tout au hasard ne reconnaît de droits que pour la force, de devoirs que pour la faiblesse; tandis que l'existence d'un plan suppose une justice éternelle que le faible peut invoquer et que le puissant doit craindre. C'est ainsi que M. Thiers, après avoir approfondi l'histoire des peuples et manié tous les ressorts par lesquels on conduit les hommes, se décidait à la fin de sa longue carrière à venir dans nos laboratoires, demandant à l'étude de la nature, à la théorie du globe, à celle de la vie, aux infiniment petits du microscope, aux infiniment grands de l'astronomie, en un mot à la conception de l'univers, une solution que l'étude de la civilisation et celle de la politique lui avaient refusée. Ceux qui ne voyaient dans les nouveaux travaux de l'homme d'État que l'innocente distraction d'un esprit fatigué des luttes de la vie publique se trompaient. M. Thiers interrogeait la science humaine en philosophe spiritualiste, comme M. Guizot s'était incliné en philosophe chrétien devant la révélation divine. Ils savaient l'un et l'autre que les grandes crises de l'histoire s'appuient non sur les succès de la force, mais sur la conquête des âmes, et se rattachent toujours à des changements de plan dans la manière dont l'humanité envisage l'origine du monde et sa propre origine.

Le rôle de la philosophie de la nature dans les événements du siècle dernier a été considérable. Les écoles grecques croyaient déjà connaître la raison des choses; les poètes romains se regardaient, à leur tour, comme les interprètes de la création; Diderot et ses émules s'annonçaient aussi en possesseurs de l'univers. Les découvertes dont les sciences se sont enrichies dans le cours de

notre âge démontrent, cependant, qu'il n'appartient qu'à l'ignorance de considérer le *Livre de la Sagesse* comme nous ayant été révélé tout entier. La source de la vie et son essence nous demeurent inconnues. Nous n'avons pas saisi le lien mystérieux qui, joignant le corps à l'esprit, constitue l'unité de la personne humaine. Nous n'avons pas le droit de traiter l'homme comme un être abstrait, de dédaigner son histoire et d'attribuer à la science des prétentions à la direction de l'axe moral du monde, que ses progrès n'autorisent pas.

Nous avons conquis la terre, il est vrai, mesuré la marche des planètes, soumis la mécanique céleste au calcul, constaté la nature des étoiles, percé la brume des nébuleuses et réglé même le mouvement désordonné des comètes; mais, par delà les astres dont la lumière emploie des siècles à nous parvenir, il est encore des astres dont les rayons s'éteignent en chemin, et plus loin, toujours plus loin, sans cesse et sans terme, brillent, dans des firmaments que le nôtre ne soupçonne pas, des soleils que ne rencontreront pas nos regards, des mondes innombrables à jamais fermés pour nous. Après deux mille ans d'efforts, si nous atteignons enfin l'extrémité lointaine de notre univers, qui n'est qu'un point dans l'espace immense, nous sommes arrêtés, muets et pleins d'épouvante, au seuil de l'infini dont nous ne savons rien.

La nature de l'homme, son existence présente et future, sont des mystères impénétrables aux plus grands génies, comme au reste des humains, écrivait d'Alembert au plus haut de sa renommée; ce que nous savons est peu de chose, disait Laplace mourant, et ce fut la dernière parole de l'illustre rival de Newton. Ne vous étonnez pas, monsieur, que ce soit la mienne sur ces graves sujets, et que je vous laisse le soin d'en préciser, vous-même, les rapports avec l'état social et politique du pays; ce sera le couronnement d'un ouvrage auquel s'attache une faveur que vos succès précédents avaient annoncée. (Dumas,

Réponse au discours de réception de M. Taine *à l'Académie française,* le 15 janvier 1880.)

*
* *

....Aimez donc le travail, jeunes élèves; hors du travail vous ne trouveriez qu'amère déception et suprême ennui. Inutiles aux autres et à vous-mêmes, privés de l'estime publique, vous deviendriez promptement des déclassés de la société. L'éducation libérale que vous auriez reçue sans en retirer aucun mérite n'aurait d'autre résultat que de vous livrer à un fol orgueil et au travers de ces esprits frondeurs qui sur tous les sujets ont des affirmations superficielles. Bien plus, on verrait surgir parmi vous des esprits forts, prêts à donner sur les plus graves questions des solutions définitives.

Savez-vous ce que réclament la plupart des libres penseurs? C'est, pour les uns, la liberté de ne pas penser du tout et d'être asservis par l'ignorance; pour d'autres, la liberté de penser mal; pour d'autres encore, la liberté d'être dominés par les suggestions de l'instinct et de mépriser toute autorité et toute tradition. La libre pensée dans le sens cartésien, la liberté dans l'effort, la liberté dans la recherche, le droit de conclure sur le vrai accessible à l'évidence et d'y conformer sa conduite, oh! ayons un culte pour cette liberté-là; c'est elle qui a fait la société moderne dans ce qu'elle a de plus élevé et de plus fécond; mais la libre pensée qui réclame le droit de conclure sur ce qui échappe à une connaissance précise, la liberté qui signifie matérialisme ou athéisme, celle-là répudions-la avec énergie.

Vraiment, je les admire, tous ces grands philosophes de ces systèmes nihilistes si prospères aujourd'hui! Eh quoi! nous autres patients scrutateurs de la nature, riches des découvertes de nos devanciers, munis des instruments les plus délicats, armés de la sévère méthode expérimen-

tale, nous bronchons à chaque pas dans la recherche de la vérité, et nous nous apercevons que le monde matériel, dans la moindre de ses manifestations, est presque toujours autre que nous l'avions pressenti. Mais eux, livrés tout entiers à l'esprit de système, placés derrière le voile impénétrable qui couvre le commencement et la fin de toutes choses, comment font-ils donc pour savoir? Croyez-moi, en face de ces grands problèmes, éternels sujets des méditations solitaires des hommes, il n'y a que deux états pour l'esprit : celui que crée la foi, la croyance à une solution qu'une révélation divine aurait donnée, et celui du tourment de l'âme à la poursuite de solutions impossibles, exprimant ce tourment par un silence absolu, ou, ce qui revient au même, par l'aveu de l'impuissance à rien comprendre et à rien connaître de ces mystères. Prétendre introduire la religion dans la science est d'un esprit faux. Plus faux encore est l'esprit de celui qui prétend introduire la science dans la religion, parce qu'il est tenu à un plus grand respect de la méthode scientifique.... (L. PASTEUR, *Discours prononcé à la Distribution des prix du collège d'Arbois*, en 1874.)

*
* *

La science s'arrête aux causes prochaines des phénomènes; la recherche des causes premières n'est pas de son domaine. Le savant a donc atteint son but quand, par une analyse expérimentale successive, il est parvenu à rattacher la manifestation des phénomènes à des conditions matérielles exactement définies. De cause en cause il arrive finalement, suivant l'expression de Bacon, à une *cause sourde* qui n'entend plus nos questions et ne répond plus.

Si ce n'était m'écarter du but de ces recherches, je pourrais montrer facilement qu'en physiologie le matérialisme ne conduit à rien et n'explique rien. (CLAUDE BERNARD, *la*

Science expérimentale, Paris, J.-B. Baillière, 1878, p. 360 et 361.

*
* *

La méthode expérimentale ne se préoccupe pas de la cause première des phénomènes qui échappe à ses procédés d'investigation; c'est pourquoi elle n'admet pas qu'aucun système scientifique vienne lui imposer à ce sujet son ignorance, et elle veut que chacun reste libre dans sa manière d'ignorer et de sentir. C'est donc seulement aux causes secondes qu'elle s'adresse, parce qu'elle peut parvenir à en découvrir et à en déterminer les lois, et celles-ci n'étant que les moyens d'action ou de manifestation de la cause première, sont aussi immuables qu'elle, et constituent les lois inviolables de la nature et les bases inébranlables de la science. (Claude Bernard, *Discours de réception à l'Académie française*, 27 mai 1869.)

*
* *

En prouvant que, jusqu'à ce jour, la vie ne s'est jamais montrée à l'homme comme un produit des forces qui régissent la matière, j'ai pu servir la doctrine spiritualiste, fort délaissée ailleurs, mais assurée du moins de trouver dans vos rangs un glorieux refuge.

Peut-être aussi m'avez-vous su gré d'avoir apporté, dans cette question ardue de l'origine des infiniment petits, une rigueur expérimentale qui a fini par lasser la contradiction. Reportons-en toutefois le mérite à l'application sévère des règles de la méthode que nous ont léguée les grands expérimentateurs : Galilée, Pascal, Newton et leurs émules, depuis deux siècles. Admirable et souveraine méthode, qui a pour guide et pour contrôle incessant l'observation et l'expérience, dégagées, comme la raison qui les met en œuvre, de tout préjugé métaphysique; méthode

si féconde que des intelligences supérieures, éblouies par les conquêtes que lui doit l'esprit humain, ont cru qu'elle pouvait résoudre tous les problèmes. L'homme vénéré dont j'ai à vous entretenir partagea cette illusion.

J'ai tant à louer et de tant de côtés, dans cette belle vie de M. Littré [1], que vous excuserez ma sincérité si je commence son éloge en marquant mon dissentiment avec ses opinions philosophiques.

Au delà de cette voûte étoilée, qu'y a-t-il? De nouveaux cieux étoilés. Soit! et au delà? L'esprit humain poussé par une force invincible ne cessera jamais de se demander : Qu'y a-t-il au delà? Veut-il s'arrêter soit dans le temps, soit dans l'espace? Comme le point où il s'arrête n'est qu'une grandeur finie, plus grande seulement que toutes celles qui l'ont précédée, à peine commence-t-il à l'envisager, que revient l'implacable question et toujours, sans qu'il puisse faire taire le cri de sa curiosité. Il ne sert de rien de répondre : au delà sont des espaces, des temps ou des grandeurs sans limites. Nul ne comprend ces paroles. Celui qui proclame l'existence de l'infini, et personne ne peut y échapper, accumule dans cette affirmation plus de surnaturel qu'il n'y en a dans les miracles de toutes les religions; car la notion de l'infini a ce double caractère de s'imposer et d'être incompréhensible. Quand cette notion s'empare de l'entendement, il n'y a qu'à se prosterner. Encore, à ce moment de poignantes angoisses, il faut demander grâce à sa raison : tous les ressorts de la vie intellectuelle menacent de se détendre; on se sent près d'être saisi par la sublime folie de Pascal. Cette notion positive et primordiale, le positivisme l'écarte gratuitement, elle et toutes ses conséquences dans la vie des sociétés.

La notion de l'infini dans le monde, j'en vois partout l'inévitable expression. Par elle, le surnaturel est au fond

1. M. Pasteur remplaçait M. Littré à l'Académie française.

de tous les cœurs. L'idée de Dieu est une forme de l'idée de l'infini. Tant que le mystère de l'infini pèsera sur la pensée humaine, des temples seront élevés au culte de l'infini : que le Dieu s'appelle Brahma, Allah, Jéhova ou Jésus. Et sur la dalle de ces temples vous verrez des hommes agenouillés, prosternés, abîmés dans la pensée de l'infini. La métaphysique ne fait que traduire au dedans de nous la notion dominatrice de l'infini. La conception de l'idéal n'est-elle pas encore la faculté, reflet de l'infini, qui, en présence de la beauté, nous porte à imaginer une beauté supérieure? La science et la passion de comprendre sont-elles autre chose que l'effet de l'aiguillon du savoir que met en notre âme le mystère de l'univers? Où sont les vraies sources de la dignité humaine, de la liberté et de la démocratie moderne, sinon dans la notion de l'infini devant laquelle tous les hommes sont égaux?

Les Grecs avaient compris la mystérieuse puissance de ce dessous des choses. Ce sont eux qui nous ont légué un des plus beaux mots de notre langue, le mot enthousiasme — 'εν Θεός — un Dieu intérieur.

La grandeur des actions humaines se mesure à l'inspiration qui les fait naître. Heureux celui qui porte en soi un Dieu, un idéal de beauté et qui lui obéit : idéal de l'art, idéal de la science, idéal de la patrie, idéal des vertus de l'Évangile. Ce sont là les sources vives des grandes pensées et des grandes actions. Toutes s'éclairent des reflets de l'infini. (Pasteur, *Discours de réception à l'Académie française*, 27 avril 1882.)

FIN

TABLE DES GRAVURES

TABLE DES MATIÈRES

PHYSIQUE

LIVRE I. — La Pesanteur.

LIVRE II. — La Chaleur.

LIVRE III. — L'Optique.

LIVRE IV. — Le Magnétisme et l'Électricité.

CHIMIE

LIVRE I. — Lavoisier.

LIVRE II. — Les successeurs de Lavoisier.

LIVRE IV



COULOMMIERS. — Imp. PAUL BRODARD.


Q125
G3
134714

